Aus der Poliklinik und Klinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt

VERGLEICHENDE MESSUNGEN DER TEMPERATURERHÖHUNG IN ZAHNHARTSUBSTANZEN BEIM HÖCHSTTOURIGEN SCHLEIFEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER HOCH- UND NORMALTOURIGEN BEREICHE

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Adriaan Polman-Mooy
aus Berlin

1961

Druck:

Ernst - Reuter - Gesellschaft
der Förderer und Freunde der Freien Universität e.V.

Dissertations - Druckstelle

Berlin-Dahlem, Garystr. 45, Tel.: 76 52 61, App. 668

Aus der Poliklinik und Klinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt

VERGLEICHENDE MESSUNGEN DER TEMPERATURERHÖHUNG IN ZAHNHARTSUBSTANZEN BEIM HÖCHSTTOURIGEN SCHLEIFEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER HOCH- UND NORMALTOURIGEN BEREICHE

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Adriaan Polman-Mooy
aus Berlin

Dekan: Professor Dr. med. Helmut Selbach

Referent: Professor Dr. med., Dr. med. dent. Ewald Harndt

Korreferent: Professor Dr. med. dent. Hermann Kirsten

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 17. Juli 1961

Inhaltsverzeichnis

Seite

Einleitung 5

Allgemeiner Teil

1) Antriebs- und Zusatzgeräte zur Erreichung hoher Touren 8

2) Beurteilung der höchsttourigen Arbeitsmethodik und der Geräte 9

Spezieller Teil

1) Wärmeentwicklung während der Bearbeitung von Zähnen mit Schleifern und Bohrern 12

2) Maßnahmen zur Verminderung und Ableitung der mechanischen Wärme 16

3) Methoden und Geräte zur Messung der Wärmeentwicklung 17

4) Eigene Versuchsanordnung 18

5) Thermoelement und Temperatur-Registrierung 22

6) Versuchsapparatur und Arbeitsweise 26

7) Versuche und Ergebnisse 31

8) Diskussion der Ergebnisse 95

9) Zusammenfassung 104

Literaturverzeichnis 107

Einleitung

Die Mehrzahl aller zahnärztlichen Eingriffe am Patienten macht eine maschinelle Bearbeitung bzw. Abtragung von Zahnhartsubstanzen notwendig. Sei es die Gestaltung einer Kavität zur Aufnahme einer Füllung oder eine der manigfaltigen präparatorischen Vorarbeiten an Zähnen, die bei prothetischen Maßnahmen zur Verankerung oder Befestigung dienen sollen: Bei diesen Manipulationen ist die Beachtung der natürlichen Gegebenheiten von großer Wichtigkeit. Mundhöhle und Zahn als anatomisch-physiologische Einheit, aufgebaut aus einer Reihe hochdifferenzierter, lebender und äußerst reaktionsfähiger Gewebe, bedeuten für den Zahnarzt Arbeitsfeld und Arbeitsobjekt. So zeigt sich der vitale menschliche Zahn als ein diffiziles und außergewöhnlich empfindliches "Werkstück", bei dessen Bearbeitung und Auswahl des Werkzeuges keinesfalls nach rein technisch-rationellen Gesichtspunkten vorgegangen werden kann.

Die Bohrmaschine als klassisches zahnärztliches Arbeitsgerät hat begreiflicherweise nicht abseits der technischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte gestanden. Dem Zahnarzt steht heute eine große Zahl in- und ausländischer Geräte zur Verfügung, die in bezug auf Präzision und Ausrüstung kaum zu wünschen übrig lassen. Sie alle bezwecken nicht nur eine Erleichterung in der Tätigkeit des behandelnden Arztes, sondern sollen auch für den Patienten die Behandlung angenehmer und vor allen Dingen weniger langwierig gestalten helfen.

Die Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Antriebsaggregate für Schleif- und Bohrinstrumente läßt jedoch die Vermutung zu, daß kaum eines dieser Geräte allen bei der Behandlung so variablen Bedingungen und Forderungen gerecht werden kann. Dies gilt auch für die neuen Arbeitsmethoden mit hoch- und höchsttourigen Bohr- und Schleifinstrumenten, bei deren Propagierung leider zu sehr die rein maschinelle Leistungsfähigkeit der Geräte in den Vordergrund gestellt wird. Es werden aber nicht zuletzt medizinisch-physiologische Erkenntnisse und Forderungen der Technik den Weg der Weiterentwicklung weisen müssen und somit auch die Ziele und Grenzen aufzeigen.

Verfolgt man den Werdegang der zahnärztlichen Bohrgeräte aus ihren Anfängen heraus bis zu dem heutigen Entwicklungsstand, so ist unverkennbar, in welchem Maße die fortschreitende technische Perfektion gerade auf diesem Gebiet der Zahnheilkunde ganz bedeutende Impulse und neue Möglichkeiten gegeben hat.

Man kann sagen, daß eine maschinelle Zahnbearbeitung im heutigen Sinne, also beispielsweise die Durchführung sinngemäßer und exakter Präparationen, erst durch die Einführung der Tretbohrmaschine 1872 durch Morrison möglich wurde. Welch bedeutender Fortschritt mit diesem Gerät erreicht wurde, mag aus der Tatsache ersehen werden, daß es in nahezu unveränderter Form noch bis vor einigen Jahren im Lehrbetrieb Verwendung fand.

Mit dem Erscheinen der ersten elektrisch angetriebenen Bohrmaschinen noch vor der Jahrhundertwende nahm dann eine Entwicklung ihren Anfang, die zu immer leistungsfähigeren Antriebsgeräten führte und auch die Anwendung höherer Drehzahlen mit sich brachte.

Für eine technische Entwicklung ist es typisch, daß ständig neue Problem-Komplexe auftreten und gelöst werden müssen. So ist auch bei wissenschaftlichen Untersuchungen in Fragestellung und Zielsetzung ein Synchronismus zum jeweiligen Entwicklungsstand festzustellen. Es ist also nicht verwunderlich, daß sich in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts die Untersuchungen hauptsächlich mit der Formgebung und dem Material zahnärztlicher Bohrer und Schleifkörper befaßten, sowie deren Leistungsfähigkeit unter verschiedenen Bedingungen der Vorschubkraft und Tourenzahl.

Die Einführung der diamantierten Schleifkörper und der Hartmetallbohrer ließen weitere Drehzahlsteigerungen zu; die dadurch erreichbare Steigerung der Schleif- bzw. Bohrleistung war offenbar, ließ jedoch gleichzeitig neue Probleme auftreten.

So konzentrieren sich nun in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren die wissenschaftlichen Veröffentlichungen dieses speziellen zahnärztlichen Gebietes auf die aktuellen Themen der Temperaturentwicklung und der Vibration, sowie deren Einfluß auf die Schmerzauslösung und die möglichen traumatischen Schädigungen der Zahnhartsubstanzen und der vitalen Pulpa. Daß besonders die höchsttourige Arbeitsweise mit Drehzahlen bis zu 350 000 U/min derartige Untersuchungen herausforderte, ist nur verständlich.

Erste Ergebnisse von Temperaturmessungen bei der maschinellen Bearbeitung von Zähnen finden sich im englischsprachigen Schrifttum. Die Arbeiten von Willis und Werner, Australien (1940) und J. P. Walsh , Neuseeland, sind hier zu erwähnen. Es folgen Veröffentlichungen amerikanischer, britischer und deutscher Autoren, die sich ebenfalls experimentell mit dem Temperaturproblem beim Bohren und Schleifen befassen. Nach den Untersuchungen von Walsh, Hudson und Sweeny über die Wärmeentwicklung und Leistungsfähigkeit zahnärztlicher Instrumente sowie den Messungen der Wärmeleitfähigkeit von Zahnhartsubstanzen durch Soyenkoff und Okun, war natürlich die Frage der im Pulpenkavum auftretenden Temperaturen von besonderem Interesse.

Bei diesen Untersuchungen zeigt sich aus naheliegenden Gründen eine Ähnlichkeit der Versuchsanordnungen und der Meßtechnik. So galt der menschliche Zahn in frisch extrahiertem Zustand und nach Einbringung eines Thermoelements in das Pulpenkavum als das geeignete Versuchsobjekt, an dem Präparationsarbeiten in üblicher Weise, oder Bohrversuche in Versuchsapparaturen durchgeführt werden konnten (Peyton , Hofmann , Hudson und Sweeny , Klos und Rottke).

Im Bestreben, die Versuche unter möglichst naturgemäßen Bedingungen durchzuführen, haben die Autoren Lisanti und Zander sowie Schubert ihre Messungen in vivo an narkotisierten Hunden durchgeführt.

Unterzieht man die Ergebnisse der vorgenannten Arbeiten und die darin beschriebenen Versuchsanordnungen einer kritischen Betrachtung, so muß man feststellen, daß hauptsächlich bei den von Hand durchgeführten Präparationen brauchbare Meßergebnisse zu erwarten sind. Hierbei ist es möglich, mit Hilfe von Bohrern oder Diamant-Schleifkörpern in praxisüblicher Weise (intermittierendes Arbeiten unter ständigem Wechsel der Bohr- bzw. Schleifstelle) z. B. eine zentrale Kavität in einem Versuchszahn auszuführen. In dieser Hinsicht lassen die erwähnten Versuchsapparaturen bedeutende Mängel erkennen, zumal nur axiale Bohrversuche beschrieben wurden.

Es schien daher der Versuch gerechtfertigt zu sein, die bisherigen Ergebnisse anderer Autoren durch weitere exakte Untersuchungen zu ergänzen und zu erweitern. In der vorliegenden Arbeit soll dem bei Temperaturmessungen bisher zweifellos vernachläßigten Diamant-Instrument das besondere Interesse gelten. Dies um so mehr, als es bei hohen und höchsten Drehzahlen den einzig brauchbaren Schleifkörper für prothetische und konservierende Präparationsarbeiten darstellt, und für diesen Zweck unentbehrlich geworden ist. Um der Aufgabe des Themas weiterhin gerecht zu werden, wurde bei der Durchführung der Temperaturmessungen eine neuartige Versuchsapparatur angewendet.

Allgemeiner Teil

1) Antriebs- und Zusatzgeräte zur Erreichung hoher Touren

Mit den heute zur Verfügung stehenden Antriebsaggregaten für umlaufende zahnärztliche Instrumente, wie Schleifkörper und Bohrer, kann der gesamte Drehzahlbereich von 0 bis ca. 300 000 U/min beherrscht werden. Innerhalb dieses Bereichs ist nicht nur der Antriebs- und Übersetzungsmechanismus verschiedenartig, sondern es werden den Tourenzahlen entsprechende Lagerungen und Halterungen der Werkzeuge erforderlich.

Die elektrische zahnärztliche Bohrmaschine, wie sie in den modernen Dental-Einheiten der verschiedenen Firmen zu finden ist, leistet mit ca. 10 000 - 12 000 U/min das Doppelte an Tourenzahl, wie die vor 1940 hergestellten Geräte. Für diese Umdrehungsgeschwindigkeiten finden normale Hand- und Winkelstücke Verwendung, bei denen die Lagerung der beweglichen Teile den erhöhten Beanspruchungen angepaßt ist. So verwenden die Hersteller z. B. klein dimensionierte Kugel- und Rollenlager oder schmale Hartmetall-Gleitlager, um die Reibungswärme so niedrig wie möglich zu halten. Als Kraftübertragung vom Antriebsmotor zum Handstück dient heute fast ausschließlich das Doriot-Gestänge.

In den letzten Jahren sind von einigen Firmen der Dentalindustrie Zusatzinstrumente konstruiert worden, die durch verschiedenartige Übersetzungsmechanismen bei normaltourigen Bohrmaschinen eine erhebliche Drehzahlsteigerung erreichen lassen. Die Übersetzung erfolgt dabei zweckmäßigerweise am Ende des Doriot-Gestänges, also kurz vor dem rotierenden Schleif- bzw. Bohrinstrument. Die Übersetzungen sind kleine Getriebe, bei denen die Kraftübertragung durch gummibelegte Rollen vor sich geht, so daß bei einem Blockieren des Bohrers oder Schleifers eine Antriebsunterbrechung gewährleistet ist. Man kann zwei Arten solcher Übersetzungsgetriebe unterscheiden. Einmal sind sie in der Art der üblichen Gelenk-Gleitverbindungen am Ende des Doriot-Gestänges angebracht und gestatten den Gebrauch eines für hohe Tourenzahlen geeigneten Hand- oder Winkelstücks, z. B. der Supra-Serie von Kaltenbach & Voigt oder des Imperator-Instrumentariums der Firma Drendel & Zweiling. Bei der zweiten Art ist das Übersetzungsgetriebe direkt im Hand- bzw. Winkelstück untergebracht, wodurch diese in ihren Abmessungen etwas größer sind. Die Abbildung 1 zeigt zwei derartige Winkelstücke, die zusätzlich mit Spraydüsen ausgestattet sind und ein Übersetzungsverhältnis von 1:5 bzw. 1:6 besitzen. Die maximalen Tourenzahlen, die sich mit maschinengetriebenen Instrumenten dieser Art erreichen lassen, liegen in der Größenordnung von ca. 150 000 U/min.

Abb. 1

D & Z-Winkelstück RT 150. Übersetzung 1 : 6 (oben)
Kerr-Super-Speed-Handpiece. Übersetzung 1 : 5

Der Drehzahlbereich über 150 000 U/min ist den druckluftgetriebenen Turbinen vorbehalten. In Deutschland werden diese Geräte von der Firma Kaltenbach & Voigt nach einem US-Patent in Lizenz hergestellt. Die Firma Siemens-Reiniger A. G. hat ein eigenes Turbinengerät entwickelt. Beide Fabrikate fanden Verwendung bei den Untersuchungen dieser Arbeit.

Entsprechend den vorgenannten Daten erscheint eine Einteilung der verschiedenen Drehzahlbereiche nach Eichner (13) erwähnungswert. Danach sind Geschwindigkeiten bis 12 000 Umdrehungen pro Minute als normaltourig zu bezeichnen, als hochtourig der Bereich von 12 000 - 40 000 U/min und als höchsttourig die darüberliegenden Werte. Im letzten Drehzahlbereich (40 000 - ca. 300 000 U/min) ist noch eine Unterteilung in maschinen- und luftgetriebene Geräte möglich.

2) Beurteilung der höchsttourigen Arbeitsmethodik und der Geräte

Das Arbeiten mit hohen und höchsten Drehzahlen konnte seine heutige Bedeutung erst erlangen, als Bohr- und Schleifinstrumente zur Verfügung standen, die in ihrer Verschleißfestigkeit den außerordentlichen Beanspruchungen standhielten. Der Stahlbohrer erwies sich als ungeeignet; nach Bartling (3) verliert er schon bei normaltourigem Arbeiten innerhalb einiger Minuten seine Schneidefähigkeit. Bei hohen Tourenzahlen ist auch die Verwendung von Carborund-Schleifkörpern wegen der schnellen Abnutzung und Verformung unzweckmäßig.

Mit der Einführung des diamantierten Schleifkörpers und der aus Hartmetallen gefertigten Bohrer und Fräsen sind Werkzeuge vorhanden, die den Anforderungen entsprechen. Formbeständigkeit und nur sehr langsames Nachlassen der Schleifleistung kennzeichnen das Diamant-Instrument, der Hartmetallbohrer ist unempfindlich gegen die thermische Beanspruchung, die bei Stahlwerkzeugen besonders für das schnelle Stumpfwerden verantwortlich ist.

Es muß nun die Frage beantwortet werden, welche Überlegungen dazu führten, ein Arbeiten mit höheren Drehzahlen anzustreben. Der Anstieg der Schleif- bzw. Bohrleistung bei hohen Tourenzahlen ist in zahlreichen Arbeiten in- und ausländischer Autoren nachgewiesen worden. Jedoch hätte diese Tatsache allein noch nicht zu der heutigen Entwicklung berechtigt. An erster Stelle steht das Bestreben, zu einer möglichst schmerzfreien und für die vitale Pulpa schonenden Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen zu gelangen.

Für die Schmerzauslösung beim Patienten sind hauptsächlich zwei Momente verantwortlich zu machen: Einmal ist es die Einwirkung mechanischer Reize auf vitales Zahnhartgewebe, zum anderen die damit verbundene Entstehung von Wärme, also der thermische Reiz.

Bei der Nennung mechanischer Reizfaktoren wird in der zahnärztlichen Literatur vornehmlich der Begriff "Druck" verwendet und als schmerzauslösender Faktor bezeichnet. Gemeint ist dabei die Kraft, mit der ein im Handstück rotierender Schleifkörper oder Bohrer gegen den Zahn gedrückt wird. Es muß aber festgestellt werden, daß diese Kraft - in der vorliegenden Arbeit mit Vorschubkraft bezeichnet - nur sehr bedingt als direkt schmerzauslösender Faktor bezeichnet werden kann. Eine unmittelbare Relation zwischen Druckanwendung und Schmerzauslösung besteht nur bei einem handgeführten und mit einer Schneidkante versehenen zahnärztlichen Instrument wie dem Schmelzmesser oder dem Exkavator. Diese Verhältnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf die Wirkungsweise eines Bohrers oder Schleifkörpers übertragen. Bei einem rotierenden Instrument müssen die schmerzauslösenden Faktoren, also auch die Temperaturentwicklung, als Komponenten der kinetischen Energie aufgefaßt werden, mit der eine Bohrerschneide oder der einzelne Kristall eines Diamant-Instrumentes auf die Zahnsubstanz auftreffen und dort eine mechanische Arbeit leisten. Ein nicht rotierendes Instrument wird keinen oder unvergleichlich weniger Schmerz auslösen als ein rotierendes, wenn es unter gleichen Bedingungen an den Zahn gedrückt wird und dies besonders unter den Bedingungen des höchsttourigen Arbeitens.

Beim rotierenden Instrument wird durch die Veränderung der Vorschubkraft der Wirkungsgrad der kinetischen Energie und somit die Arbeitsleistung der auftreffenden Schneidekante des Instruments variiert.

Aus diesen Überlegungen sind bereits theoretisch die Zusammenhänge zwischen Vorschubkraft, Arbeitsleistung und Wärmeentwicklung abzusehen.

Bei steigender Drehzahl eines Instruments wird die Vorschubkraft immer geringer angesetzt werden können, um eine gleichbleibende Schleifleistung bzw. Arbeitsleistung zu erhalten.

Der Vorteil der geringen Vorschubkraft bei höchsten Drehzahlen wird in der besonderen Zerspanungscharakteristik eins turbinengetriebenen Instruments zu suchen sein. Legt man bei einem Instrument von 2 mm Durchmesser eine Drehzahl von 300 000 U/min zugrunde, so resultiert eine Umfangs- oder Schnittgeschwindigkeit von 31.4 m/sec. Mit dieser Geschwindigkeit (umgerechnet 113 km/Std.) trifft die Schneidkante oder der Diamantkristall die Zahnsubstanz. Es leuchtet ein, daß bei einer derartig hohen kinetischen Energie nicht einmal eine sehr scharfe Schneide nötig ist, um bei geringer Vorschubkraft eine kleine Partikel vom Zahnschmelz oder Dentin abzusprengen. Bei diesem Vorgang ist die Berührungszeit der einzelnen Schneidkante mit dem Zahn so kurz, daß es auf Grund der Massenträgheit kaum zur Entstehung und Fortpflanzung einer Druckwelle kommen wird.

In diesen beiden Momenten: Kleinste Leistung und kürzeste Berührungszeit der einzelnen Schneidkante am Zahn ist die Ursache der geringen mechanischen Reizbildung zu sehen. Erst die Summation dieser Vorgänge bei hohen und höchsten Tourenzahlen ergibt die große Schleif- bzw. Bohrleistung.

In diesem Zusammenhang kann auf die Untersuchung von Bohlmann (5) hingewiesen werden, der mit Hilfe des Mikroskops Aufnahmen von Bohr- und Schleifspänen, die bei verschiedensten Drehzahlen gewonnen wurden, gemacht hat. Seine Feststellung, daß bei steigender Drehzahl die Späne kleiner werden, bestätigt die obigen theoretischen Erwägungen.

Die Vibration, die zur Schmerzauslösung beiträgt, wird nicht allein durch das rhythmische Auftreffen der Schneidekanten eines Instruments hervorgerufen, sondern hauptsächlich durch die Tatsache, daß jedes Werkzeug trotz äußerster fabrikatorischer Präzision eine über den Radius hinausragende Schneide bzw. Diamantkristalle besitzt. Es besteht daher eine geringe Unrundheit. Filmaufnahmen von normal-, hoch- und höchsttourig laufenden Instrumenten, wie sie von Eichner in Zusammenarbeit mit dem Institut für den wissenschaftlichen Film in Göttingen mit Hilfe eines Zeitdehnungsverfahrens durchgeführt wurden, zeigen in eindrucksvoller Weise den Schneidvorgang derartiger Bohrer und Fräsen.

Verstärkte Vibrationen treten auf, wenn Hand- und Winkelstücke mit ausgeschlagenen Lagern während der Behandlung verwendet werden.

Durch die elastische Aufhängung des Zahnes in der Alveole ist es möglich, daß dieser in Schwingungen kleiner Amplitude versetzt werden kann, z. B. durch ein rotierendes Instrument. In Abhängigkeit von der Eigenmasse und seiner Befestigung in der Alveole besitzt er auch eine Eigenfrequenz, die nach Messungen von Andreae, Eichner und Rohrbach (2) an verschiedenen Zähnen Werte zwischen 300 und 1 500 Hz ergeben haben. Wenn diese Untersuchungen auch noch kein abschließendes Urteil über die Zusammenhänge zwischen der

Eigenfrequenz und dem Vibrationsverhalten beim Schleifen und Bohren zulassen, so hat doch die klinische Erfahrung gezeigt, daß die Vibration bei hohen und höchsten Drehzahlen weitaus weniger vom Patienten empfunden wird bzw. nicht mehr wahrnehmbar ist.

Walsh und Symmons (45) haben in ihren Arbeiten auf diese Zusammenhänge hingewiesen und behaupten, daß Frequenzen von 100 - 200 Hz vom Patienten als besonders unangenehm empfunden würden, während solche über 1 000 Hz nicht mehr wahrnehmbar seien.

Bei ihren Vibrations- und Eigenschwingungsmessungen kommen Keller und Kierse (25) zu dem Ergebnis, daß bei Drehzahlen zwischen 9 000 und 12 000 U/min besonders starke und unangenehme Erschütterungen auftreten. Der Wert von 12 000 U/min entspricht genau dem von Walsh und Symmons angegebenen ungünstigen Frequenzbereich von 200 Hz.

Berücksichtigt man außerdem die von Keller und Kierse angegebenen Werte für die Eigenfrequenz von Zähnen, so muß man zu dem Resultat kommen, daß die günstigsten Umdrehungsgeschwindigkeiten im höchsttourigen Bereich oberhalb von 40 000 U/min liegen.

Nach dem bisher über die schmerzauslösenden Faktoren - Vorschubkraft und Vibration - Gesagten, scheint die höchsttourige Arbeitsweise durchaus günstig und erstrebenswert zu sein. Der Temperaturentwicklung als Funktion der Arbeitsleistung muß eine besondere Bedeutung zukommen. Sie ist im höchsttourigen Bereich als der hauptsächlich schmerzauslösende und pulpenschädigende Faktor anzusehen. Es wird nun die weitere Aufgabe sein, die Temperaturenwicklung und deren Größenordnung unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen.

Spezieller Teil

1) Wärmeentwicklung während der Bearbeitung von Zähnen mit Schleifern und Bohrern

Überall in der Technik muß bei der maschinellen Bearbeitung von Werkstoffen der oftmals nicht unerheblichen Wärmeentwicklung begegnet werden. Werkzeugmaschinen werden aus diesem Grunde mit Vorrichtungen versehen, die eine dosierbare Zuführung geeigneter Kühlmittel wie Wasser, Spiritus oder Öl ermöglichen, um Werkstück und Werkzeug vor Hitzeschädigungen zu bewahren.

Die Arbeitswärme entsteht an der Berührungsstelle von Werkstück und Werkzeug. So ergeben sich vier Wege der Wärmeabgabe: Ein Teil der Wärme wird vom Werkstück aufgenommen, ein weiterer Teil vom Werkzeug; außerdem erfolgt die Wäremeabfuhr in erheblichem Maße durch heiße Materialspäne und letztlich durch direkte Abstrahlung in das umgebende Medium. Da Luft ein schlechter Wärmeleiter ist, ersetzt man dieses Medium zweckmäßigerweise durch ein solches höherer Wärmekapazität, z. B. durch Wasser. Dadurch erreicht man auf diesem besonders zweckmäßigen Wege eine größere Wäremeabfuhr.

Die Wärmeverteilung auf Werkstück und Werkzeug hängt nicht nur von deren Größe und ihrer spezifischen Wärme ab, sondern sie wird sehr unterschiedlich sein, je nachdem ob sich das Werkstück bewegt und das Werkzeug feststeht (Drehbank), oder umgekehrt (Schleifbock).

In der Zahnheilkunde und bei den später beschriebenen Messungen trifft nur die zuletzt genannte Situation zu. Leider ist diese Situation die ungünstigere. Wird ein rotierender Schleifkörper mit einer Vorschubkraft an einen Zahn gehalten, so bleibt für diesen der Berührungspunkt mit dem Werkzeug während des Arbeitsvorganges derselbe, wohingegen er sich für den Schleifkörper ständig auf dessen Umfang bewegt. Dieser Berührungspunkt ist der Entstehungsort der Arbeits- und Reibungswärme.

Es ergibt sich hieraus eine Grundforderung, die beim Schleifen und Bohren sowohl an vitalen als auch avitalen Zähnen unbedingt eingehalten werden muß: Mit einem rotierenden Instrument darf niemals längere Zeit an einer Stelle des Zahnes gearbeitet werden, da nicht nur Pulpaveränderungen sondern auch lokale Hitzeschädigungen des Zahnhartgewebes entstehen können. Ein Schleifkörper sollte ständig an der zu bearbeitenden Stelle entlanggeführt werden. Ist das nicht möglich, z. B. bei einer Kavitätenpräparation, so muß in kurzen Intervallen - tupfend - gearbeitet werden.

Die Tatsache, daß bei einer mechanischen Arbeit ein Teil der aufgewandten Energie in Form von Wärme verlorengeht, ist bekannt. Der Grad der Wärmeentwicklung besitzt eine bestimmte Charakteristik, die dem Wirkungsgrad des Werkzeuges entspricht. Je kleiner die Wärmeentwicklung bei gleichbleibender Arbeitsleistung ist, umso grösser ist der Wirkungsgrad, Da der Wirkungsgrad von einer Reihe von Faktoren abhängig ist, welche teilweise einer willkürlichen Veränderung und Steuerung zugänglich sind, sollen sie im folgenden besprochen werden.

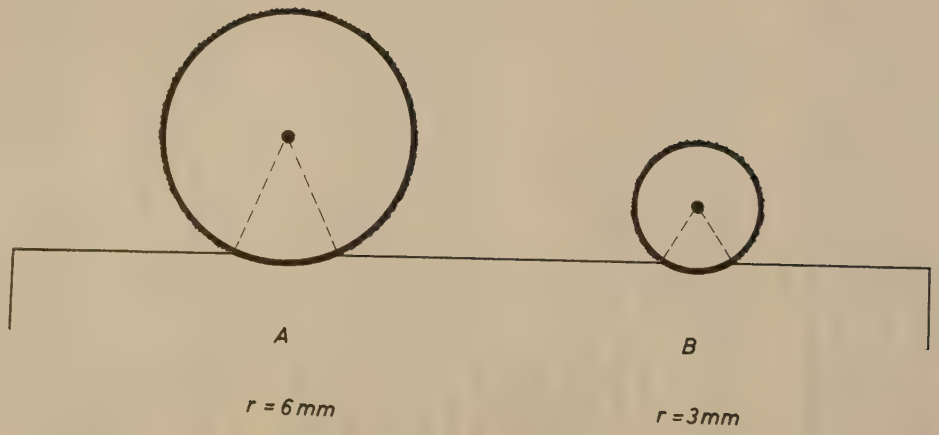
Wird ein Diamant-Instrument mit steigender Drehzahl unter konstanter Vorschubkraft an einen Zahn geführt, so ist - von der Wärmeentwicklung abgesehen - weder mit einem linearen Anstieg der Arbeitsleistung zu rechnen, noch wird diese in einem gleichbleibenden Verhältnis zur Wärmeentwicklung stehen bleiben. Mit anderen Worten: Der Wirkungsgrad verändert sich.

In verschiedenen Arbeiten zum Thema Bohren und Schleifen ist bereits darauf hingewiesen worden, daß zu der Angabe einer Drehzahl die Nennung des Schleifkörper-Radius gehört, um die Größe der Umfangs- oder Schnittgeschwindigkeit (v) berechnen zu können. Dies geschieht nach der Formel:

$$v = U/min \cdot 2r \cdot \pi .$$

Welche unterschiedlichen Situationen sich bei der Verwendung zweier Schleifkörper mit verschiedenen Durchmessern bei gleicher Drehzahl ergeben, soll die Abbildung 2 verdeutlichen. Bei 10 000 U/min ergibt sich die Umfangsgeschwindigkeit für A mit 6.28 m/sec. Für B beträgt sie bei einem nur halb so großen Durchmesser 3.14 m/sec. Gilt für

Abb. 2



beide Schleifkörper dieselbe Vorschubkraft, so ergibt A die größere Schleifleistung. Aus der Abbildung läßt sich ein weiterer Vorteil des großen Schleifers ersehen: Bei gleicher Eindringtiefe macht die Berührungsfläche des Schleifrades A mit dem Material einen geringeren Teil seines Umfanges aus, als dies bei B der Fall ist. Bonsack (7) weist in diesem Zusammenhang auf die Vorteile möglichst großer Schleifkörper hin und gibt an, daß die Angriffsfläche nicht mehr als 1/20 des Umfanges betragen soll, um einen einwandfreien Abtransport des Schleifstaubes zu gewährleisten. Ist die Berührungsfläche zwischen Instrument und Zahn zu groß, so wird der anfallende Schleifstaub zwischen die Diamantkristalle gepreßt. Dadurch verschlechtert sich der Wirkungsgrad unter starker Wärmeentwicklung.

Auch Hofmann (21) tritt für die Verwendung großer Schleifkörper ein und schreibt:

"Die Wärmeerzeugung ist direkt proportional den Faktoren Kraft und dem Produkt aus Umdrehungszahl/min und dem Umfang des Schleifkörpers. Um den Zahn möglichst wenig zu erwärmen, ist es zweckmäßig, einen großen Schleifstein mit einem hohen Wärmeleitvermögen und hoher Wärmekapazität zu verwenden. Bei gleicher Arbeitsleistung entzieht der gleiche Schleifstein dem Zahn mehr Wärme aufgrund seiner größeren Oberfläche, der Zahn wird dabei gleichmäßiger erwärmt und örtliche Temperaturspitzen werden vermieden."

Dazu ist zu bemerken, daß die Wärmeentwicklung vom Reibungsmoment abhängig ist, einem Wert, der eine Funktion des Radius darstellt. Ein Schleifkörper mit großem Durchmesser hat demnach ein erheblich größeres Reibungsmoment als ein kleines Instrument. Dem Behandler wird dies durch die bedeutend stärkere Abbremsung der Antriebsmaschine auffallen.

Es gilt hier die Formel: Reibungsmoment $M = N \cdot r \cdot n \cdot \mu$, wobei μ der Reibungskoeffizient, n die Drehzahl/min ist.

Die Vorteile des größeren Schleifkörpers sind also hauptsächlich in der besseren Eliminierung des Schleifstaubes und der höheren Wärmekapazität infolge der größeren Oberfläche zu sehen.

Da große Schleifinstrumente ihrem Reibungsmoment entsprechend Antriebsmaschinen mit hohem Drehmoment verlangen, können sie im höchsttourigen Bereich - insbesondere bei Turbinen-Geräten - keine Verwendung finden. Das relativ geringe Drehmoment der Turbinen erlaubt nur den Antrieb kleindimensionierter Bohrer und Schleifkörper, deren maximaler Durchmesser nicht über 2 mm liegen soll.

2) Maßnahmen zur Verminderung und Ableitung der mechanischen Wärme

Schon allein die praktischen Erfahrungen mit der hoch- und höchsttourigen Arbeitsweise am Patienten haben dazu geführt, daß heute wohl kaum noch die Notwendigkeit zuverlässiger Kühlmaßnahmen bestritten werden kann. Auch bei vorsichtiger Arbeitsweise mit geringer Vorschubkraft und unter Verwendung scharfer Instrumente, wird die Bearbeitung eines Zahnes mit vitaler Pulpa oftmals durch die thermische Schmerzauslösung erschwert oder unmöglich gemacht.

Auf die besonderen Gefahren, denen die Pulpa beim Arbeiten unter Anästhesie ausgesetzt ist, wurde schon häufig von anderer Seite mit Nachdruck hingewiesen. Es fehlt in solchen Fällen nicht nur die warnende Schmerzreaktion des Patienten, sondern hinzu kommt auch die Möglichkeit einer verminderten Durchblutung sowohl des umliegenden Gewebes als auch der Pulpa selbst durch die Wirkung vasokonstriktorischer Zusätze zur Anästhesielösung. Verminderte Durchblutung würde aber bedeuten, daß ein auf diesem Wege möglicher Wärmeausgleich aus dem Pulpenkavum unterbunden oder herabgesetzt wird. Inwieweit die vitale Pulpa zu einer derartigen Leistung imstande ist, konnte experimentell allerdings noch nicht festgestellt werden.

Es sollen hier noch einmal zusammenfassend die hauptsächlichen Faktoren genannt werden, die bei rotierenden Schleifkörpern zu einer Herabsetzung des Wirkungsgrades und damit zu übermäßiger und unnötiger Wärmeentwicklung führen:

1) Durch zu große Druckanwendung (Vorschubkraft) wird die Schneidleistung des Instruments überfordert:
   Verschmieren, hohe Reibungswärme.

   Bei turbinengetriebenen Instrumenten ist die Gefahr einer Überlastung wegen des geringen Drehmoments nicht gegeben.

2) Langanhaltendes Schleifen auf einer Stelle des Zahnes:
   Ungenügende Eliminierung des Schleifstaubes durch zu tiefes Eindringen des Schleifkörpers in das Material, Wärmestauung.

3) Verwendung abgenutzter, unscharfer Schleifinstrumente.

Selbst wenn diese Punkte berücksichtigt werden, ist eine zusätzliche Kühlung unerläßlich. Die von einer Helferin betätigte Wasserspritze mag beim normaltourigen Schleifen noch eine mehr oder minder hinreichende Kühlung der Schleifstelle und des Instruments erreichen lassen; die höchsttourige Arbeitsweise hat neue Bedingungen gestellt.

Die Schnellauf-Hand- und Winkelstücke besitzen ebenso wie die Airotor-Turbinenköpfe eine oder zwei Düsen, durch welche dem Instrument und der Arbeitsstelle ein Kühlmittel (Wasser) in regulierbarer Menge zugeführt werden kann. Das Wasser besitzt durch seinen hohen spezifischen Wärmewert von 1.0 cal/g gute Eigenschaften für diesen Zweck; außerdem steht es in beliebiger Menge zur Verfügung.

Verschiedene Kühlsysteme finden heute Verwendung. Als besonders geeignet erscheint der Wasser-Luft-Spray, bei dem durch die feine Verteilung des Wassers eine große wirksame Oberfläche geschaffen wird. Hierzu kommt die Kühlwirkung der sich beim Austritt aus der Düse expandierenden Preßluft. Andere Geräte bedienen sich zur Kühlung eines feinen Wasserstrahls, der auf das Schleifinstrument oder den Bohrer gerichtet ist. Durch die Drehung des Instruments wird er in feine Tröpfchen zerrissen, die eine gute Kühlwirkung ergeben. Die Wirksamkeit hängt auch von der Anordnung der Düsen ab. Diese muß so sein, daß auch die Arbeitsstelle stets befeuchtet wird. Die Wassermenge muß außerdem zur schnellen und vollständigen Säuberung des Instruments vom Schliefstaub ausreichen.

Zu bedenken ist natürlich, daß eine starke Zufuhr von Wasser die Sicht im Arbeitsfeld verschlechtern würde.
Eine leistungsfähige Absaugvorrichtung sollte vorhanden sein, um die Arbeit zu erleichtern. Die Abbildung 3 zeigt die Anordnung und Verteilung des Doppelsprays am Turbinenkopf des KaVo-Borden-Airotors.

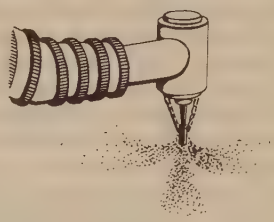


Abb. 3

3) Methoden und Geräte zur Messung der Wärmeentwicklung

Die Temperaturerhöhung im Pulpenkavum und innerhalb der Zahnhartsubstanz, wie sie bei der maschinellen Bearbeitung auftritt, und deren Größenordnung, hat bereits eine Reihe Autoren zu Untersuchungen veranlaßt.

Bei allen Untersuchungen hat der Gedanke nahegelegen, die Versuchsanordnung und die Versuchsbedingungen so zu wählen, daß diese den Gegebenheiten der Praxis und den Verhältnissen am Patienten weitgehend entsprechen. Die Aufgaben, die sich bei der Durchführung exakter und unter gleichen Bedingungen wiederholbarer Versuche stellen, lassen die Schwierigkeiten erkennen, allen Forderungen gerecht zu werden. Die Bedingungen, die in dieser Hinsicht einer genauen Einhaltung bedürfen, werden von Fall zu Fall verschieden sein und von der Fragestellung der Untersuchungsarbeit abhängen.

In den meisten früheren Untersuchungen fanden menschliche Zähne als Versuchsobjekte Verwendung, die kurze Zeit zuvor extrahiert waren. Nach Abtrennung der Wurzelspitze wurde ein Thermoelement unter Röntgenkontrolle bis zum Pulpendach eingeführt.

Unter diesen Bedingungen hat Peyton (36) die Wirkung verschiedener Kühlsysteme in den Tourenbereichen von 30 000 bis 170 000 U/min untersucht.

Im gleichen Verfahren hat Hofmann (21) Präparationsarbeiten durchgeführt und die Temperaturerhöhung im Pulpenkavum gemessen.

Die Arbeiten von Hudson und Sweeny (22) sind mit einer ähnlichen Versuchsanordnung durchgeführt worden. Der Zahn wurde in einer Haltevorrichtung mit Hilfe einer wärmeisolierenden Masse befestigt, um dann entweder von Hand in bestimmter Weise bearbeitet zu werden, oder aber die Haltevorrichtung war mit einem Hebelsystem verbunden, mit dessen Hilfe der Zahn unter einer regulierbaren Vorschubkraft an ein rotierendes Instrument gedrückt wurde (Peyton).

Die Temperaturmessung geschieht mit Hilfe von Thermoelementen, die durch ihre kleinen Dimensionen besonders geeignet sind.

Die vom Thermoelement erzeugte elektromotorische Kraft (Thermokraft) ist eine Funktion der an der Lötstelle bestehenden Temperatur und kann an einem angeschlossenem Millivoltmeter abgelesen werden. Ist die Skala des Instruments nicht in ^{o}C geeicht, so müssen die Temperaturwerte einer für das Thermoelement charakteristischen Millivolt-Temperaturkurve entnommen werden. Auch kann die Registrierung der Temperaturschwankungen durch ein automatisches Temperatur-Schreibgerät erfolgen.

Durch die Verwendung empfindlicher Spiegelgalvanometer, die durch ihr optisches Anzeige-System eine geringe Eigenträgheit und kurze Einstellzeit besitzen, können schnell erfolgende Temperaturveränderungen noch exakt erfaßt werden.

4) Eigene Versuchsanordnung

Aus naheliegenden Gründen hat man bei Temperaturmessungen den unverletzten, kariesfreien menschlichen Zahn als Versuchsobjekt verwendet. Die dabei erzielten Ergebnisse sind in ihrem Wert unbestritten. Unter Berücksichtigung der besonderen Forderungen der vorliegenden Arbeit bleibt jedoch die Frage zu beantworten, ob der natürliche Zahn für vergleichende Messungen, deren Ergebnisse reproduzierbar sein müssen, als Prüfkörper im eigentlichen Sinne in Frage kommt.

Folgende Bedingungen müssen von einem geeigneten Prüfkörper erfüllt werden:

1. Möglichst gleichbleibende Materialbeschaffenheit
2. Dimensionsgleichheit
3. Exakte Fixierungsmöglichkeit des Thermoelements
4. Gleichförmige Angriffsfläche für das Schleifinstrument.

An einem solchen Prüfkörper ist es möglich, Versuche unter veränderlichen Bedingungen hinsichtlich Tourenzahl und Vorschubkraft oder unter Anwendung verschiedener Kühlsysteme durchzuführen und die Ergebnisse unmittelbar miteinander zu vergleichen.

Der menschliche Zahn kann den genannten Forderungen nicht gerecht werden. Die Angriffsfläche für das rotierende Instrument wird bei jedem Zahn unterschiedlich sein, ebenso die Ausdehnung des Pulpenraumes, so daß die Lage des eingebrachten Thermoelements nicht gleich und von der Außenfläche durch eine gleichmäßige Zahnsubstanzstärke getrennt sein kann.

Diese Überlegungen führten dazu, eine Anzahl gleichartiger Prüfkörper herzustellen, die den oben angeführten vier Forderungen gerecht werden.

Ein Teil der Prüfkörper wurde aus Elfenbein hergestellt, eine Anzahl aus dem Dentin extrahierter menschlicher Molaren.

Bei der Herstellung der Dentin-Prüfkörper mußten hinsichtlich der Abmessungen geringe, aber unbedeutende Abweichungen gegenüber den Elfenbein-Prüfkörpern in Kauf genommen werden. Abbildung 4 zeigt die Gestalt und die Abmessung des Prüfkörpers. Er besteht aus einem rechteckigen Plättchen mit den Kantenlängen 12x8 mm und einer Dikke vom 3 mm. Die schmalen Kanten des Plättchens sind zur Vorderfläche in abgeschrägt. Dadurch kann der Prüfkörper in eine entsprechend geformte Kunststoffhalterung der Versuchsapparatur eingeschoben werden. Die Vorderseite verkleinert sich durch die Abschrägung auf ein Maß von 10x8 mm. In das aufrecht stehende Plättchen ist senkrecht in der Mittellinie eine Bohrung von 1 mm Durchmesser zur Aufnahme des Thermoelements angebracht. Dieser Bohrkanal hat eine

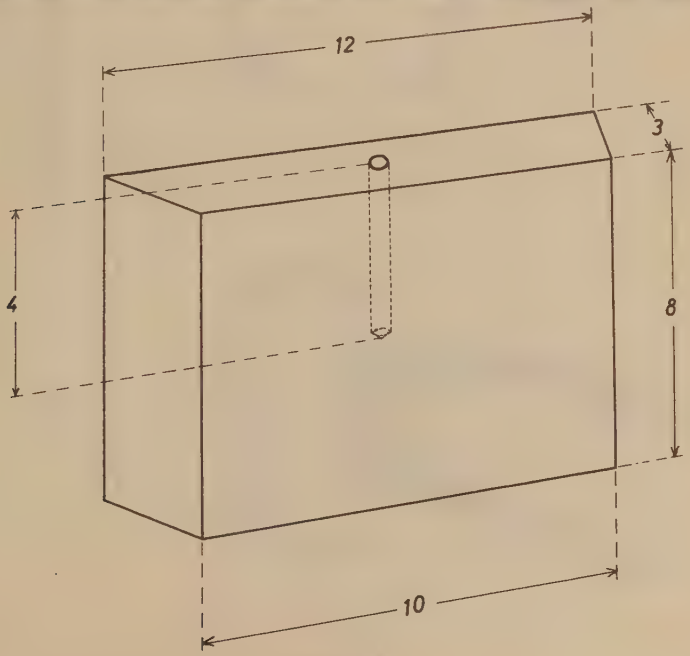


Abb. 4

Tiefe von 4 mm. Er ist unter Verwendung einer für diesen Zweck hergestellten Bohrlehre (Abbildung 5) derart ausgeführt, daß zwischen ihm und der Vorderfläche des Plättchens eine Wandstärke von 1 mm besteht.

Die Herstellung der Dentin-Plättchen geschah auf folgende Weise: Aus kariesfreien Molaren (vorzugsweise verlagerte bzw. retinierte untere 3. Molaren) lassen sich durch zwei parallel zur Okklusionsfläche verlaufende Schnitte mit einer Diamant-Trennscheibe 3 mm starke Dentinscheiben gewinnen. Wie aus der Abbildung 6 zu ersehen ist, liegt der eine Schnitt unterhalb der tiefsten Fissur (Schmelz-Dentin-Grenze), der andere tangiert die Pulpenhörner. Diese Dentinplättchen werden ebenfalls für die Aufnahme in der Kunststoffhalterung zurechtgeschliffen und mit der Bohrung versehen.

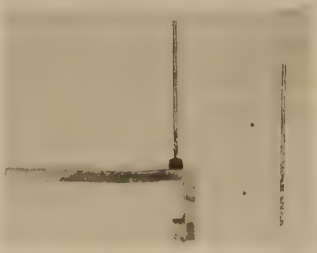
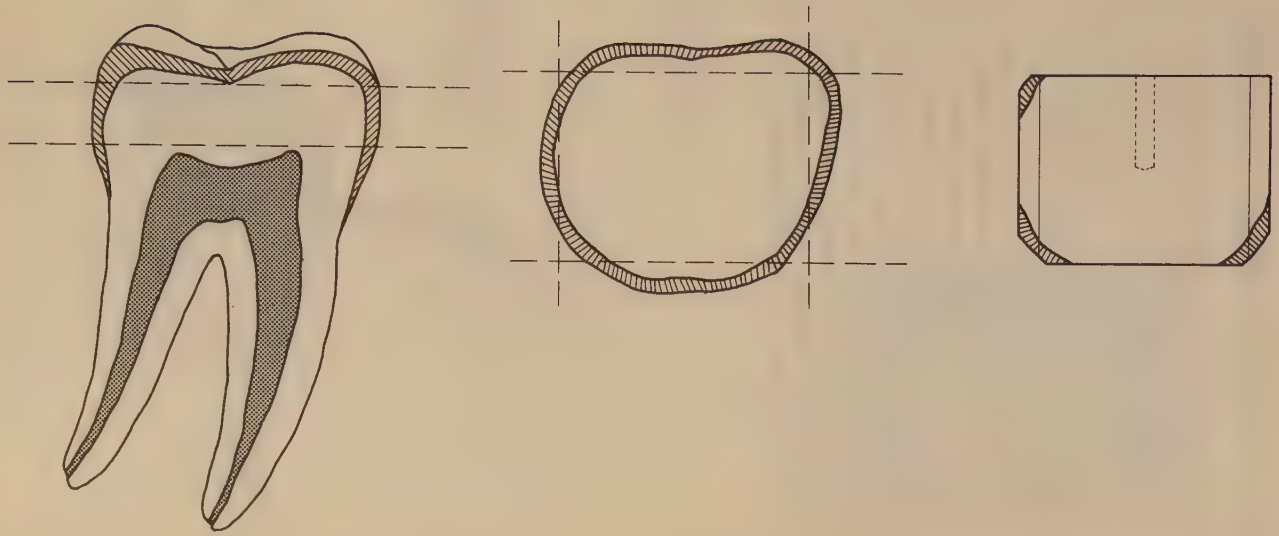


Abb. 5

Die Dentin-Prüfkörper und die halbe Anzahl der Elfenbeinplättchen wurden bis zum jeweiligen Versuch in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Eine gleiche Anzahl von Messungen wurde an trockenem Elfenbein durchgeführt.

Abb. 6

Herstellung des Dentin-Prüfkörpers



5) Thermoelement und Temperatur-Registrierung

Für die Messungen wurde ein Eisen-Konstantan-Element verwendet. Dieses Thermoelement zeichnet sich gegenüber anderen durch eine relativ hohe Thermokraft (5.37 mV per 100 °C) und einen nahezu geradlinigen Verlauf der Temperatur-Spannungs-Kurve aus. Die Herstellung geschieht durch Zusammenschweißen der Enden je eines genormten Eisen- und Konstantandrahtes von 0.2 mm Durchmesser im Stickstoffstrom auf elektrischem Wege.

Die entstehende kleine Schweißperle von ca. 0.4 - 0.5 mm Größe, die den eigentlichen Temperatur-Rezeptor darstellt, findet in der Bohrung des Versuchsplättchens ausreichend Platz. Dabei mußte bei jedem Versuch eine gleichbleibende Lage des Thermoelements in der Bohrung garantiert werden. Die Schweißperle sollte der vorderen Bohrungswand zur Schleifstelle hin anliegen. Diese Lage wurde gewährleistet, indem die beiden Thermodrähte bei ihrem Austritt aus dem Versuchsplättchen in einem L-förmigen Paladurkörper gefaßt werden, der seinerseits nach Einbringung des Thermoelements unter geringer Vorspannung der Drähte mit etwas Klebewachs an der Kunststoffhalterung

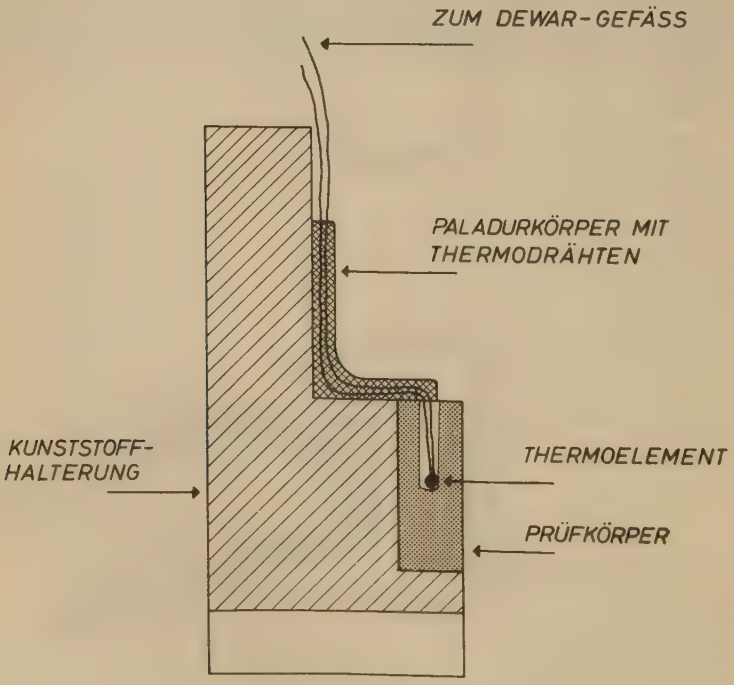


Abb. 7

fixiert wurde. Abbildung 7 (Seite 22) läßt die Situation erkennen. Abbildung 8 zeigt die Kunststoffhalterung mit eingeschobenem Elfenbein-Versuchskörper und Thermoelement. Die Schaltung des Thermoelements geht aus dem Schema der Abbildung 9 hervor. Die beiden Schenkel des Elements sind mit je einem Kupferdraht verschweißt. Sie müssen an diesen Schweißstellen auf einer konstanten Bezugstemperatur gehalten werden. Zu diesem Zweck werden sie in getrennte Glasröhrchen verlegt, die mit Petroleum gefüllt sind und in ein verschlossenes Dewar-Gefäß mit Eiswasser (aqua dest.) hineinreichen.

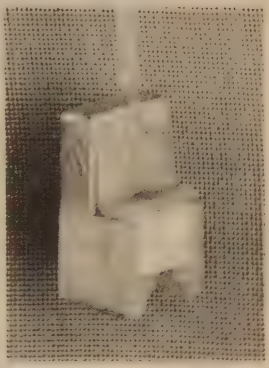
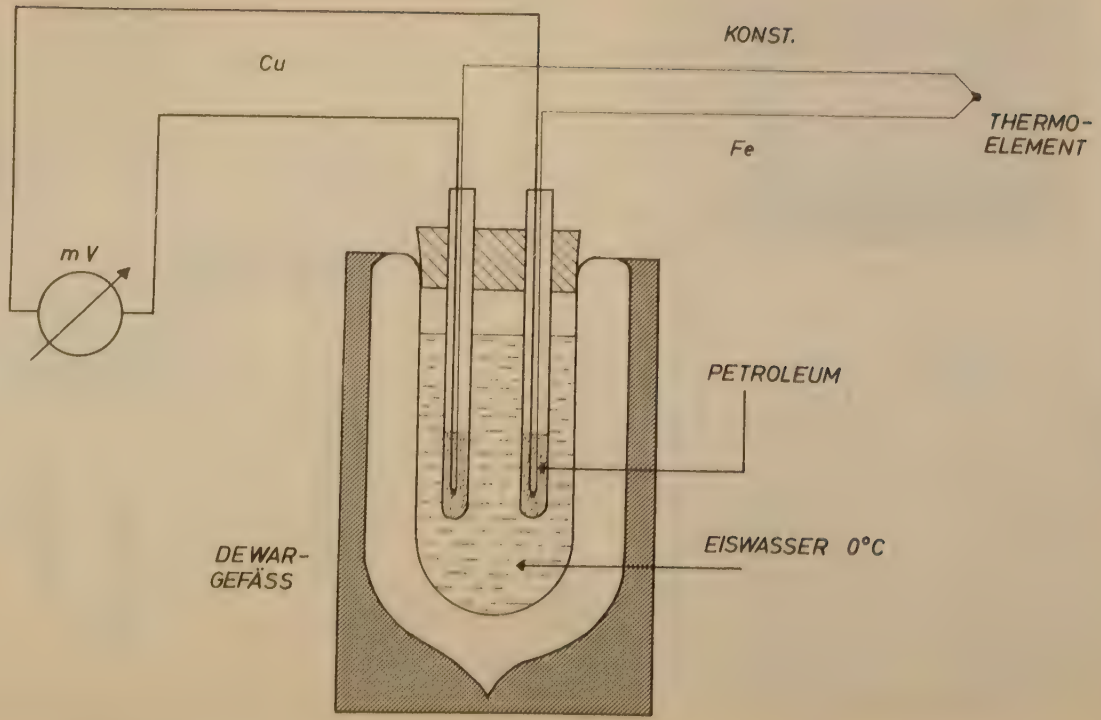


Abb. 8

Abb. 9


KONST.
Cu
THERMO-
ELEMENT
Fe
mV
PETROLEUM
EISWASSER 0°C
DEWAR-
GEFÄSS

Von der Firma Hermann Haase, Berlin, wurde das Spiegelgalvanometer zur Temperaturanzeige und -Registrierung hergestellt. Das Gerät verfügt über drei in Millivolt geeichte Skalen entsprechend drei wahlweise umschaltbaren Temperatur-Meßbereichen.

Meßbereich 1	15 °C - 33 °C
Meßbereich 2	15 °C - 51 °C
Meßbereich 3	15 °C -190°C

Die Registrierung der Temperaturerhöhung während des Schleifprozesses mußte von Hand ausgeführt werden und geschah auf folgende Weise: Nach Einstellung des in Frage kommenden Meßbereiches (durch Vorversuche ermittelt) wurde über der Skala ein Streifen transparenten Papiers befestigt, auf welchem die Bewegungen der Lichtmarke verfolgt werden konnten. Vor Beginn des Versuches mußte die Einstellung

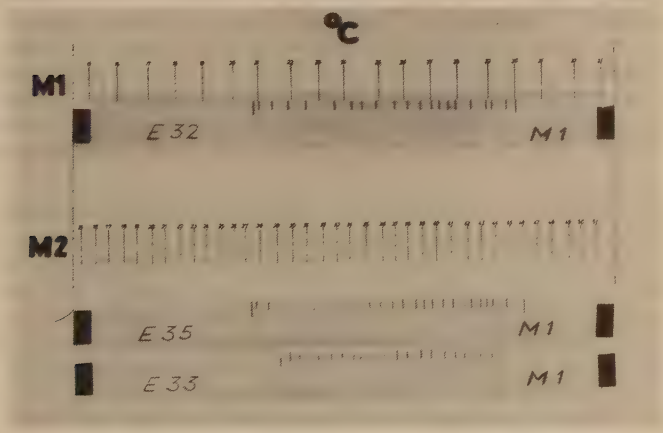


Abb. 10

Meßblatt mit angelegtem Meßstreifen

auf Raumtemperatur abgewartet und an dieser Stelle eine Bleistiftmarkierung angebracht werden. Während des Versuches wurde in Intervallen vom 2 bzw. 4 Sekunden die Stellung des Lichtzeigers markiert. Die Temperaturwerte ergaben sich dann später bei der Auswertung durch Anlegen des Meßstreifens an eine den Instrument-Meßbereichen entsprechende und in °Celsius geeichte Meßblatt-Skala (siehe Abbildung 10).

6) Versuchsapparatur und Arbeitsweise

Mit der Versuchsapparatur sollten stets gleichartige Schleifvorgänge durchgeführt werden können. Die Schleifbewegungen mußten denen ähnlich sein, die der Zahnarzt mit seinem Handstück beim Beschleifen eines Zahnes ausführt. Erwünscht war also die Möglichkeit zu intermittierendem Schleifen und zwar mit kurzen und längeren Schleifintervallen, je nachdem, ob mit einem Turbinengerät oder mit einem maschinengetriebenen Handstück gearbeitet wird.

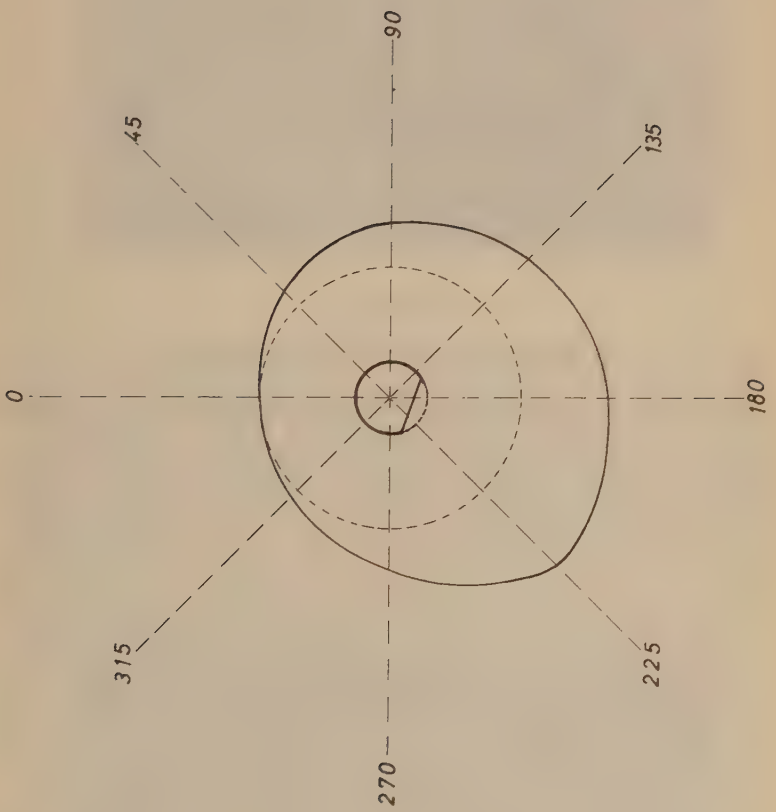
Unter Berücksichtigung dieser Forderungen kam eine Versuchsmaschine zustande, die durch automatische Steuerung einen einmal eingestellten Schleifvorgang selbsttätig ausführte und nur ein- bzw. ausgeschaltet zu werden brauchte.

Anhand einiger Abbildungen soll die Arbeitsweise der Apparatur erläutert werden: Die in Plexiglas-Haltevorrichtungen fest eingespannten Turbinen- bzw. Schnellaufwinkelstücke können - untereinander auswechselbar - auf dem Schlitten eines Supports montiert werden. Die Hin- und Herbewegung des Schlittens erfolgt gegen eine Federkraft mittels besonders profilierter Plexiglasnocken, die ausgewechselt werden können und auf der Achse eines Schneckengetriebes stecken. Durch einen Elektromotor mit konstanter Drehzahl erfolgt der Antrieb in der Weise, daß die Nockenwelle pro Sekunde eine Umdrehung ausführt.

Die Konstruktion und Anfertigung der Nocken bedurfte besonderer Sorgfalt. Die vergrößerte Konstruktionszeichnung gibt die Abbildung 11 wieder. Die Hubhöhe des Nockens beträgt 5 mm; entsprechend wird auch das Schleifinstrument um 5 mm hin und her bewegt. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, daß die maximale Hubhöhe bei 225^{o} erreicht wird, und zwar von 0^{o} an gleichmäßig ansteigend um 1 mm pro 45^{o} Drehung. In den verbleibenden 135^{o} fällt der Hub wieder auf Null ab. Solange das rotierende Schleifinstrument dem Zahn anliegt, wird das Handstück langsam entgegen der Drehrichtung geführt, um dann nach dem Abheben schnell wieder zum Ausgangspunkt gebracht zu werden.

Es wurde schon erwähnt, daß die Nockenwelle pro Sekunde eine Umdrehung ausführt. Demzufolge beträgt die Schleifdauer bei diesem Nocken 5/8 Sekunde. Dieser Schleifrhythmus entspricht durchaus der Norm, wenn mit einem maschinengetriebenen Instrument gearbeitet wird. Für einen Airotor ist die Schleifdauer jedoch zu lang. Das kurze, "kommaförmige" Schleifen, wie es bei diesen Geräten angeraten wird, kann in seinem Bewegungsablauf durch die Verwendung des Doppelnockens nachgeahmt werden. Hierbei erfolgen pro Umdrehung jeweils zwei gleichartige Schleifbewegungen, und zwar ebenfalls mit den charakteristischen Bewegungsmerkmalen des einfachen Nockens. Die Hubhöhe beträgt gleichfalls 5 mm und ergibt dieselbe Schlifffläche auf dem Versuchsplättchen.

Abb. 11



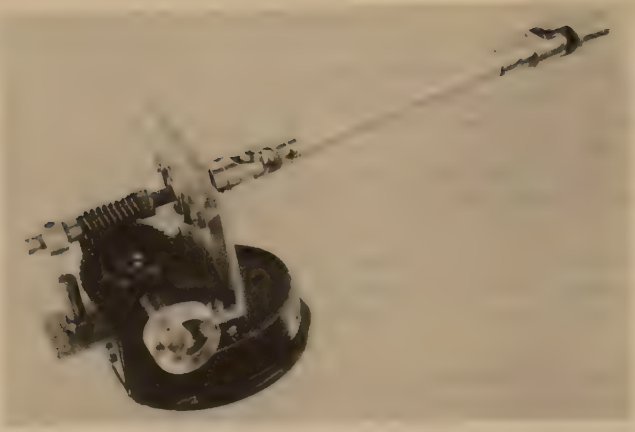


Abb. 12

Schneckengetriebe mit Plexiglasnocken

Die Anbringung der Kunststoffhalterung mit Prüfkörper und Thermoelement soll im Folgenden beschrieben werden. Auf der Abbildung 13 (Seite 29) ist in der Mitte ein auf zwei hochglanzpolierten Schienen laufender Plexiglaswagen mit Messingachsen und -Rädern zu erkennen. Seine Laufrichtung steht rechtwinklig zu der Bewegungsrichtung des Winkelstückes. Die Schleifprobe wird an der Stirnseite des Wagens in einer Metallfassung durch zwei Schrauben festgehalten, die eine genaue Höheneinstellung gegenüber dem Diamantinstrument zulassen. Man sieht auf dem Bild im Vordergrund ebenfalls einen Nylonfaden über eine Rolle laufen. An diesen sind weiter unten die Gewichte zur Regulierung der Vorschubkraft angebracht. Der Rollwiderstand des Wagens beträgt 4 Gramm, die durch Bleikugeln austariert wurden. Auf der Rückseite des Wagens ist ein Weicheisenblock befestigt. Ihm gegenüber sieht man auf der Abbildung einen kleinen Elektromagneten. Wird dieser eingeschaltet, so zieht er den Wagen an und hebt den Versuchskörper vom Diamantinstrument ab. Der entstehende Zwischenraum wird mit der am Support befindlichen Mikrometerschraube auf ca. 0.3 mm eingestellt und stellt die Situation vor Beginn eines Versuches dar. Mittels eines zweiten Schalters kann die Hin- und Herbewegung des Turbinenhandstücks eingeschaltet werden. Ein dritter Schalter setzt die Turbine in Tätigkeit. Die Aufsicht auf die Apparatur (Abbildung 14) läßt zwischen dem Schneckengetriebe und dem Elektromagneten einen elektrischen, sehr fein einstellbaren Impulsgeber erkennen, der durch einen am Supportschlitten herausragenden Metallstab (siehe Pfeil) bestätigt wird. Am rückwärtigen toten Punkt der Bewegung wird durch ihn der Magnet eingeschaltet. Die Schleifprobe wird vom rotierenden Instrument abgehoben. Ein Schleifintervall ist beendet. Das Instrument kehrt mit einer schnelleren Bewegung zum vorderen toten Punkt zurück. In diesem Augenblick unterbricht der

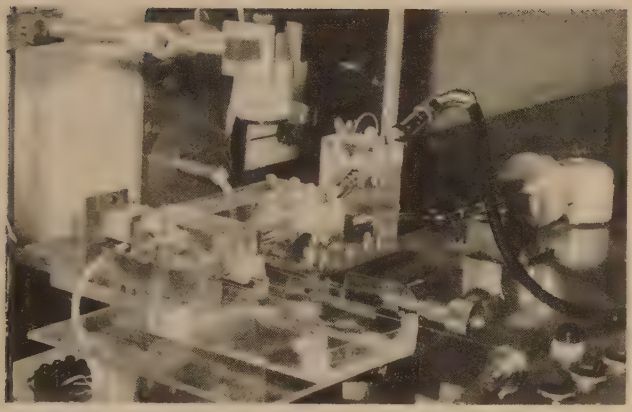


Abb. 13

Impulsgeber den Stromkreis des Elektromagneten, der Wagen wird durch das anhängende Gewicht (Vorschubkraft) wieder an das Instrument gebracht, und ein neues Schleifintervall beginnt.

Jeder Versuch wurde bei Eröffnung der Bohrung bzw. Freilegung des Thermoelements abgebrochen. Dies geschieht durch Bestätigung des zuerst erwähnten Schalters, der den Stromkreis zum Magneten unter Überbrückung des Impulsgebers schließt (Schaltschema Abbildung 15, Seite 30).

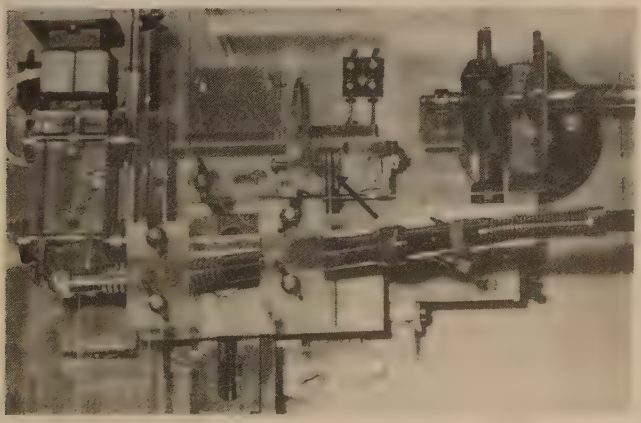


Abb. 14

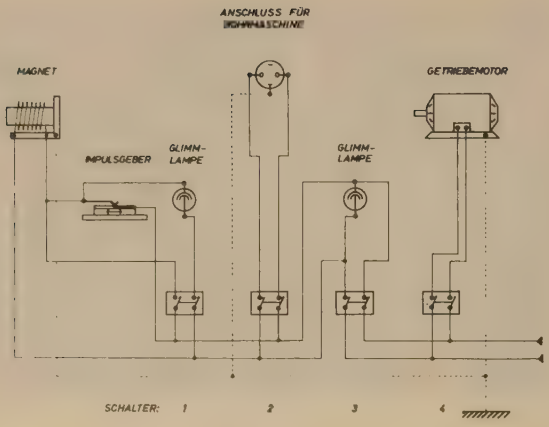


Abb. 15

Schaltschema der Versuchsapparatur

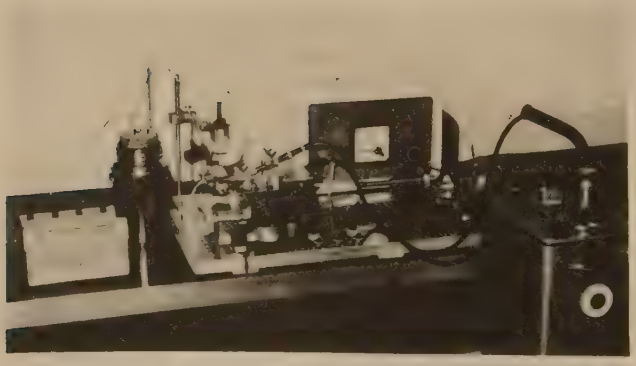


Abb. 16

Gesamtansicht der Versuchsapparatur

Während der Versuche konnte sowohl die Tourenzahl des Schleifinstruments, als auch dessen Tourenabfall durch die Wirkung der unterschiedlichen Vorschubkräfte kontrolliert werden. Die Siemens-Reiniger-Werke A. G. hatten hierfür ein elektrisches Induktions-Drehzahlmeßgerät zur Verfügung gestellt. Die Gesamtansicht der Versuchsapparatur (Abbildung 16) läßt im Hintergrund außer dem Meßgerät auch den Spulenkopf mit Zuleitung erkennen. Mit einer Stativklemme wird er dicht

oberhalb des Turbinenkopfes mit dem für diesen Zweck aufmagnetisierten Schleifinstrument gehalten. Zwei Drehzahl-Meßbereiche können wahlweise eingeschaltet werden:

Meßbereich I	0 - 50 000 U/min
Meßbereich II	0 - 500 000 U/min

Das Gerät läßt genaue Messungen zu und zeigt jede, bei Turbinen auch schon akustisch wahrnehmbare Drehzahlschwankung an.

7) Versuche und Ergebnisse

Die Gesamtzahl der Versuche mußte aus Gründen der Materialbeschaffung in Grenzen bleiben. Es war zu Beginn der Versuche geplant, nur einen Teil an Dentin-Prüfkörpern durchzuführen. Diese Ergebnisse sollten mit denen verglichen werden, die sich aus Versuchen mit trockenem und nassem Elfenbein ergaben.

Nachdem jedoch die Ergebnisse von ca. 25 Vorversuchen ausgewertet waren, erschien es wünschenswert, die hauptsächlichsten Versuchsgruppen mit allen drei Materialen durchzuführen. Auf diese Weise wurde es möglich, nicht nur Resultate hinsichtlich der maximalen Temperaturerhöhung und der Wirkung verschiedener Geräte zu erlangen, sondern auch etwas aussagen zu können über die Zusammenhänge zwischen Schleifdauer und Schleiffestigkeit des Materials.

In zwölf Gruppen unterteilt, wurden insgesamt 255 Versuche durchgeführt. Davon 160 Versuche an Elfenbein-Prüfkörpern, sowie 95 an Dentinplättchen. In einer Gruppe sind jeweils diejenigen Versuche zusammengefaßt, bei denen ein bestimmtes Gerät oder Kühlsystem Verwendung fand. Die Tabellen I - VII geben einen entsprechenden Überblick. Mit den großen Buchstaben A - M sind die Gruppen bezeichnet, die sich auch in den graphischen Darstellungen wiederfinden. Die Rubrik Kühlung enthält Abkürzungen mit folgender Bedeutung: L = Luft, Sp. = Spray, W = Wasserstrahl. Die darunterstehende Temperaturangabe in ^{o}C entspricht der Spray- bzw. Wasserstrahltemperatur, gemessen im Abstand von 1 cm vor der Düse. Die Geräte wurden vor Beginn der Versuche einige Minuten betrieben, bis die Spraytemperatur konstant blieb. Die Bezeichnung des Prüfkörper-Materials ist ebenfalls abgekürzt. Es bedeuten: E (t) = Elfenbein trocken, E (n) = Elfenbein naß, D = Dentin. Es wurde schon erwähnt, daß auch die Dentinplättchen in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt wurden.

Die letzte Rubrik enthält die Temperaturwerte aller fünf unter gleichen Bedingungen durchgeführten Versuche. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in den graphischen Darstellungen jeweils drei Versuche in ihrem zeitlichen Ablauf wiedergegeben, diejenigen mit dem höchsten, niedrigsten und einem Zwischenwert.

Bei sämtlichen Versuchen außer den in Tabelle VI unter Gruppe G und H aufgeführten, wurde als Instrument eine Diamantwalze mit grobem Diamantkorn der Firma Drendel & Zweiling verwendet. Durchmesser 2 mm, Länge der Walze 6 mm.

Tabelle I

Gruppe	Nr.	Instrument U/min	Kühlung Art ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp. Anst.
A	1	Diamant-Walze KaVo-Airotor 1 Düse 300000	L -	20	E (t)	22.2
	2					19.9
	3					21.3
	4					21.8
	5					20.7
	6				E (n)	30.1
	7					27.9
	8					28.1
	9					29.0
	10					28.9
	11				D	17.7
	12					17.9
	13					20.2
	14					19.5
	15					18.8
	16			30	E (t)	32.0
	17					31.7
	18					30.5
	19					29.1
	20					28.3
	21				E (n)	28.2
	22					30.0
	23					33.7
	24					34.8
	25					33.2
B	1	Diamant-Walze KaVo-Airotor 1 Düse 300000	Sp. 22° 13	20	E (t)	8.0
	2					6.8
	3					6.5
	4					7.2
	5					6.6
	6				E (n)	7.8
	7					7.1
	8					6.3
	9					6.6
	10					7.3
	11				D	5.2
	12					6.5
	13					4.9
	14					5.0
	15					6.7

Tabelle II

Gruppe	Nr.	Instrument U/min	Kühlung Art ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp.Anst.
	1					9.6
	2					9.4
	3				E (t)	8.0
	4					8.8
	5					8.1
	6					7.7
	7					7.2
	8			20	E (n)	7.7
	9					7.0
	10					6.8
	11					7.3
	12					6.8
	13				D	5.5
	14					6.2
	15					5.6
	16					9.5
	17					9.6
	18				E (t)	8.4
	19	Diamant-				10.6
	20	Walze				10.7
	21					7.0
	22	KaVo-				8.3
C	23	Airotor	Sp. 14	30	E (n)	8.2
	24	Doppel-	22°			8.0
	25	Spray				8.8
	26	300000				9.3
	27					7.9
	28				D	7.7
	29					8.1
	30					9.9
	31					8.6
	32					8.9
	33				E (t)	9.3
	34					10.0
	35					10.7
	36					8.6
	37					8.8
	38			50	E (n)	8.9
	39					8.5
	40					8.2
	41					8.9
	42					7.7
	43				D	9.3
	44					10.1
	45					10.2

Tabelle III

Gruppe	Nr.	Instrument U/min	Kühlung Art	ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp.Anst.
D	1	KaVo-Airotor Doppel-Spray	Sp. 16°	14	30	E (t)	-1.3
	2						-1.8
	3						-1.5
	4						-2.6
	5						-2.0
	6					E (n)	1.2
	7	300000					1.2
	8						0.7
	9						1.1
	10						0.8

Tabelle IV

Gruppe	Nr.	Instrument U/min	Kühlung Art	ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp.Anst.
	1						6.9
	2						7.5
	3					E (t)	8.0
	4						7.6
	5						6.8
	6						9.1
	7						10.0
	8				20	E (n)	10.0
	9						9.8
	10						10.2
	11						9.0
	12						9.2
	13					D	8.3
	14						9.3
	15						9.6
	16						7.9
	17						8.0
	18					E (t)	9.1
	19						8.4
	20						8.3
	21	Diamant-					10.2
	22	Walze					12.0
E	23	Siemens-	W_{38}^{o}	23	30	E (n)	10.7
	24	Sirona					11.0
	25	300000					12.0
	26						10.1
	27						9.8
	28					D	10.4
	29						9.4
	30						9.2
	31						9.5
	32						9.2
	33					E (t)	8.8
	34						8.9
	35						9.6
	36						12.3
	37						11.1
	38				50	E (n)	10.6
	39						11.4
	40						11.9
	41						10.1
	42						10.0
	43					D	9.4
	44						9.7
	45						8.2

Tabelle V

Gruppe	Nr.	Instrument U/min	Kühlung Art	ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp.Anst.
	1						8.1
	2						7.8
	3					E (n)	7.8
	4						8.0
	5						7.9
	6				50		6.0
	7						6.8
	8					D	6.6
	9						6.6
	10						6.5
	11						9.9
	12						9.1
	13					E (n)	9.5
	14						9.4
	15						9.8
	16				100		9.4
	17						8.1
	18	Diamant-				D	8.3
	19	Walze					7.8
	20						8.7
F	21	Kerr	Sp.				9.9
	22	Winkel-	23°	30			10.7
	23	Stück				E (n)	10.0
	24						10.5
	25	80 000					10.3
	26				150		8.7
	27						10.3
	28					D	8.9
	29						9.0
	30						8.6
	31						12.8
	32						12.4
	33					E (n)	12.6
	34						12.9
	35						12.5
	36				250		10.9
	37						10.6
	38					D	11.0
	39						11.7
	40						10.3

Tabelle VI

Gruppe	Nr.	Instrument	Kühlung Art	ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp.Anst.
G	1	Diamant-Walze	W 38°	23	30	E (n)	9.9
	2						9.1
	3						9.7
	4						10.7
	5						10.4
	6	Hartmetall Fissuren-B					3.2
	7						3.9
	8						3.6
	9						3.4
	10						3.7
	11	Diamant-Walze			50	E (n)	10.7
	12						11.1
	13						10.2
	14						11.0
	15						10.4
	16	Hartmetall Fissuren-B					2.3
	17						3.0
	18						2.6
	19						2.5
	20						2.8
	21	Diamant-Walze				D	5.9
	22						6.5
	23						5.7
	24						6.0
	25						5.8
	26	Hartmetall Fissuren-B					7.9
	27						7.9
	28						7.6
	29						7.8
	30						7.9
H	1	Hartmetall Fissuren-B	W 38°	23	50	D	18.6
	2						16.3
	3						13.9
	4						15.7
	5						17.2

Gerät: Siemens-Sirona-Turbine

Drehzahl: 300 000 U/min

Instrumente: Diamantwalze 1.3 mm Ø

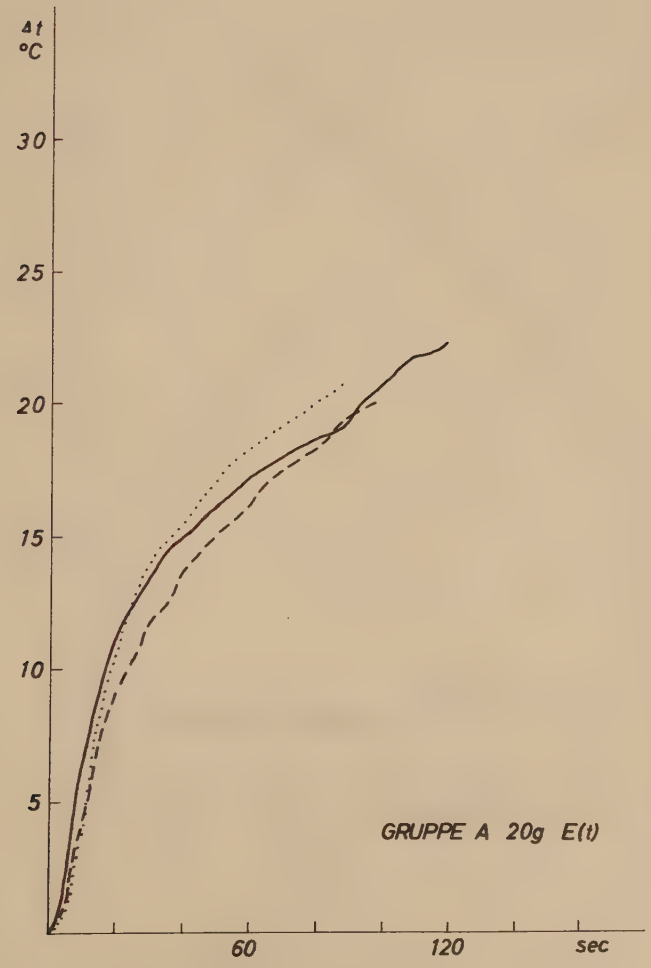
Hartmetallbohrer 1.3 mm Ø

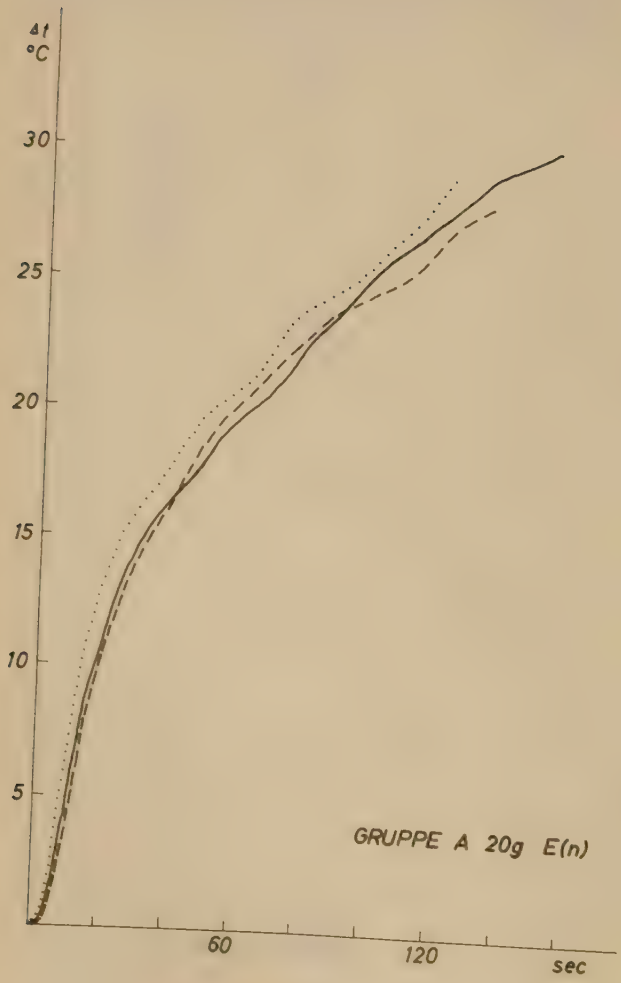
Tabelle VII

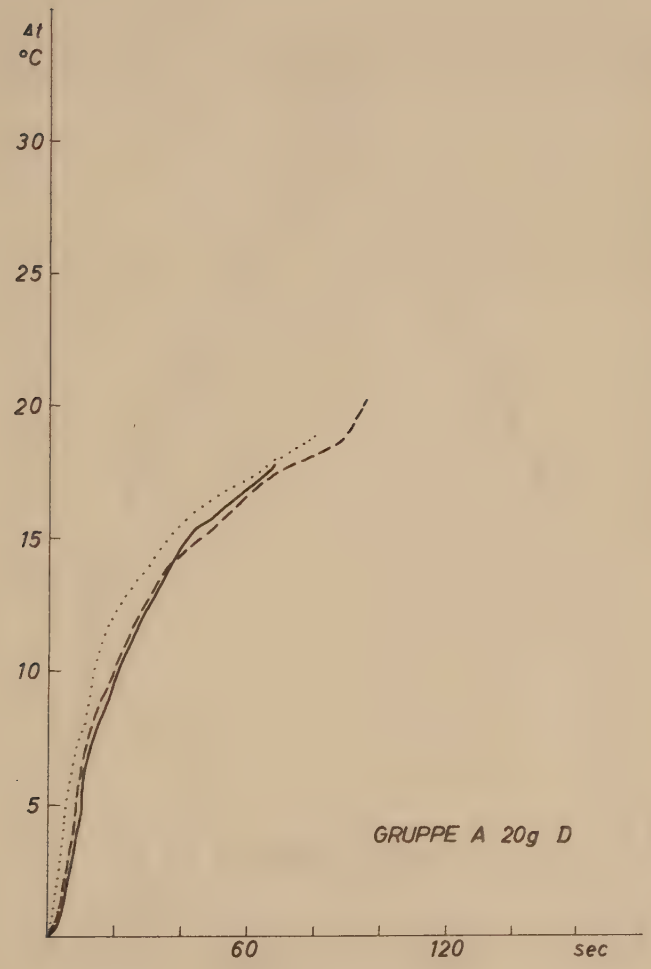
Gruppe	Nr.	Instrument U/min	Kühlung Art ccm/min	Vorschubkraft (g)	Material	maximaler Temp.Anst.
I	1	Diamant-Walze Kerr 40 000	Sp. 23° 30	100	E (n)	8.6
	2					6.8
	3					7.1
	4					7.5
	5					8.0
	6				D	6.0
	7					6.3
	8					5.8
	9					6.1
	10					6.9
K	1	Winkel-Stück 40 000	ohne Kühlung		E (n)	54
	2					59
	3					61
	4					58
	5					64
	6				D	56
	7					57
	8					51
	9					46
	10					53
L	1	Diamant-Walze Imperator 6 000	Sp. 23° 30	250	E (n)	7.8
	2					9.5
	3					7.5
	4					8.7
	5					9.0
	6				D	8.3
	7					7.6
	8					6.8
	9					7.2
	10					6.9
M	1		ohne Kühlung		E (n)	45
	2					66
	3					50
	4					58
	5					51
	6				D	38
	7					42
	8					35
	9					40
	10					42

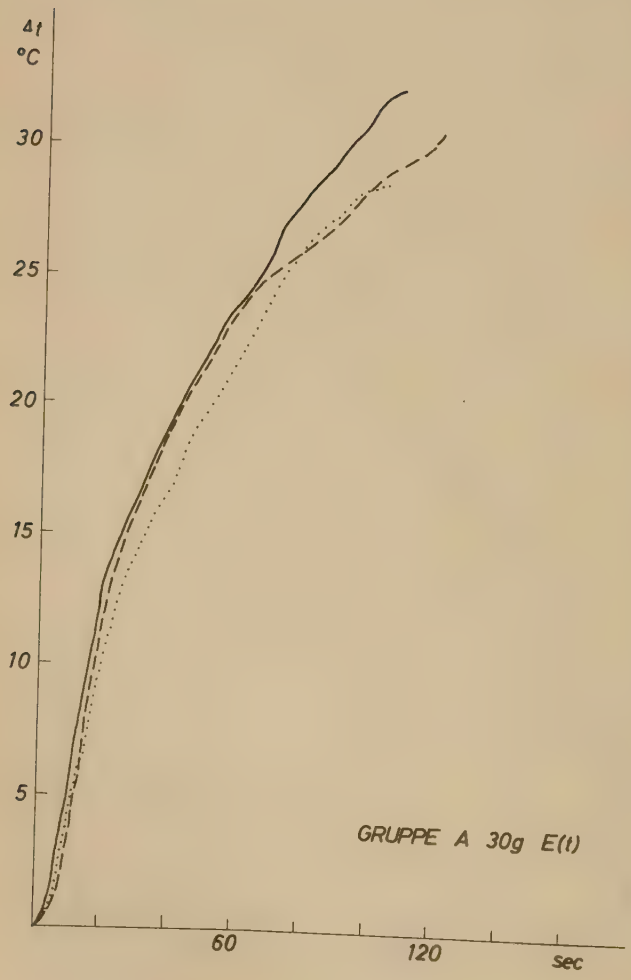
Versuche der Gruppe A.

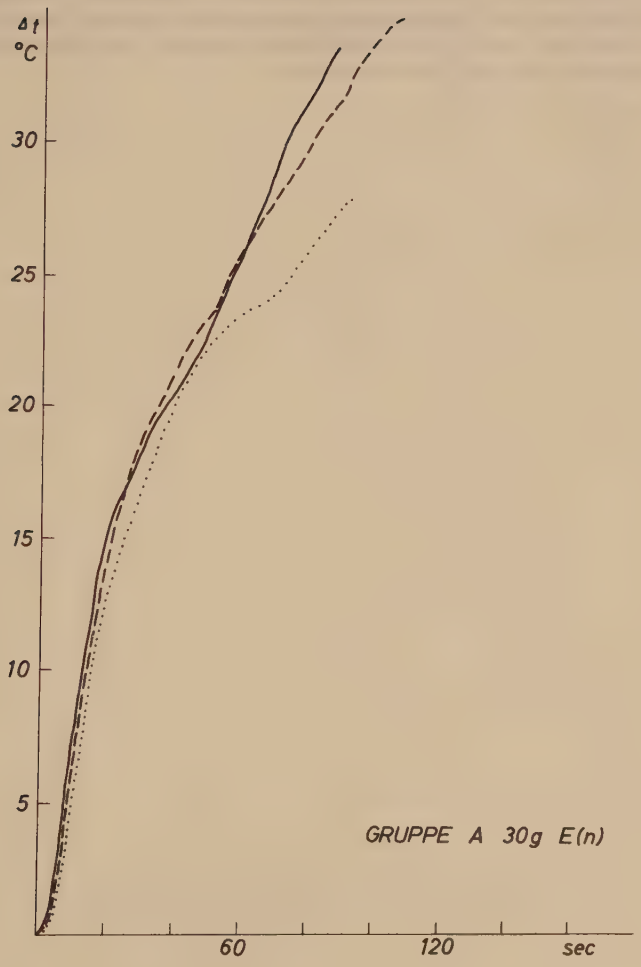
In der ersten Gruppe wurden 25 Versuche mit dem KaVo-Borden-Airotor bei 300 000 U/min ohne Spraykühlung durchgeführt (Spray-Regulierungsventiel am Winkelstück geschlossen), so daß nur die aus der Turbine austretende Antriebsluft eine Kühlwirkung ausüben konnte. Als Instrument fand eine Diamentwalze mit grobem Diamantkorn der Firma Drendel & Zweiling Verwendung, die mit gleichen Abmessungen auch bei allen anderen Versuchen (außer Gruppe G und H) benutzt wurde. Durchmesser 2 mm, Länge der Walze 6 mm.




Δt
°C
30
25
20
15
10
5
GRUPPE A 20g E(n)
60
120
sec

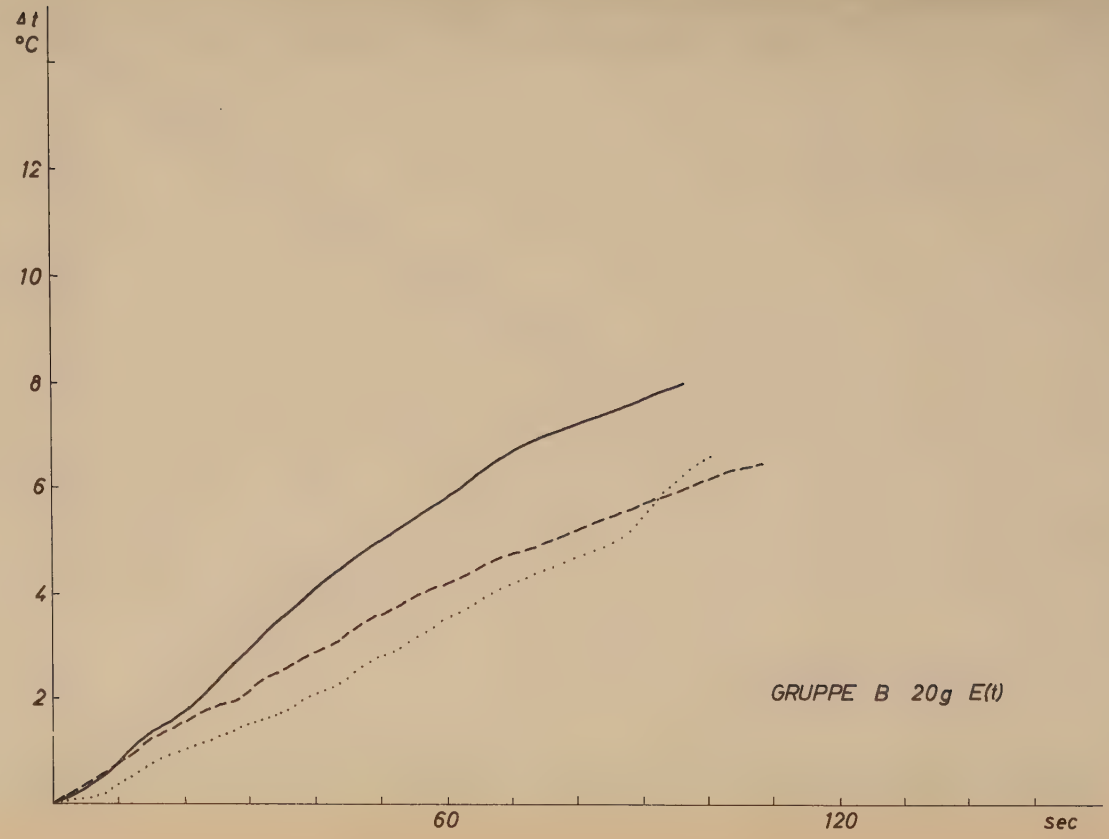

Δt
°C
30
25
20
15
10
5
GRUPPE A 20g D
60
120
sec

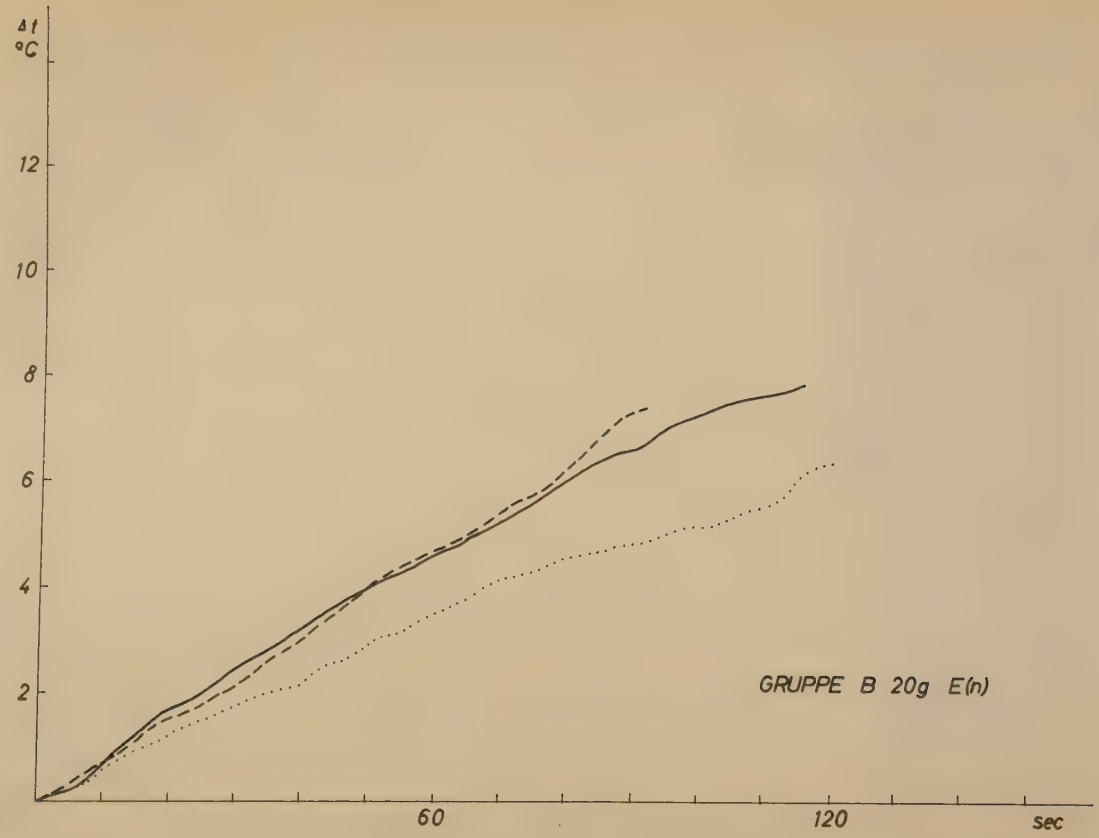

Δt
°C
30
25
20
15
10
5
60
120
sec
GRUPPE A 30g E(t)

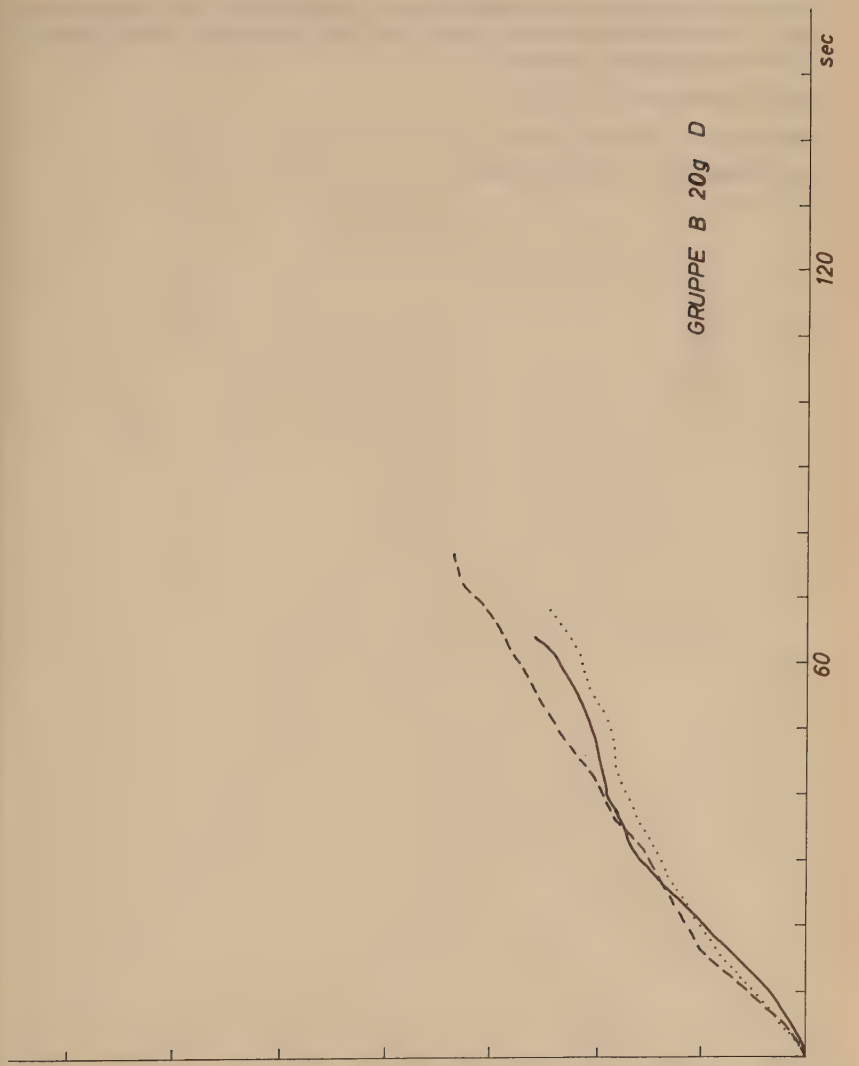

Δt
°C
30
25
20
15
10
5
GRUPPE A 30g E(n)
60
120
sec

Versuche der Gruppe B

15 Versuche mit KaVo-Borden-Airotor bei 300 000 U/min. Es handelt sich um ein Winkelstück, dessen Turbinenkopf nur eine Spraydüse besitzt. Diese Versuchsserie wurde durchgeführt, um die Ergebnisse mit denen zu vergleichen, die unter Verwendung eines Doppelsprays (Turbine neuer Bauart) in der Gruppe C, Versuch 1 - 15 zu finden sind. Das Wasser für den Spray wird in einem Vorratsbehälter auf ca. 60 bis 70°C vorgewärmt. Um diese Temperatur zu erreichen, muß das Gerät 20 Minuten vor Arbeitsbeginn eingeschaltet werden. Nach Inbetriebssetzung der Turbine vergehen einige Minuten, bis eine konstante Spraytemperatur von 22°C erreicht wird.


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE B 20g E(t)


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE B 20g E(n)


41 °C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE B 20g D

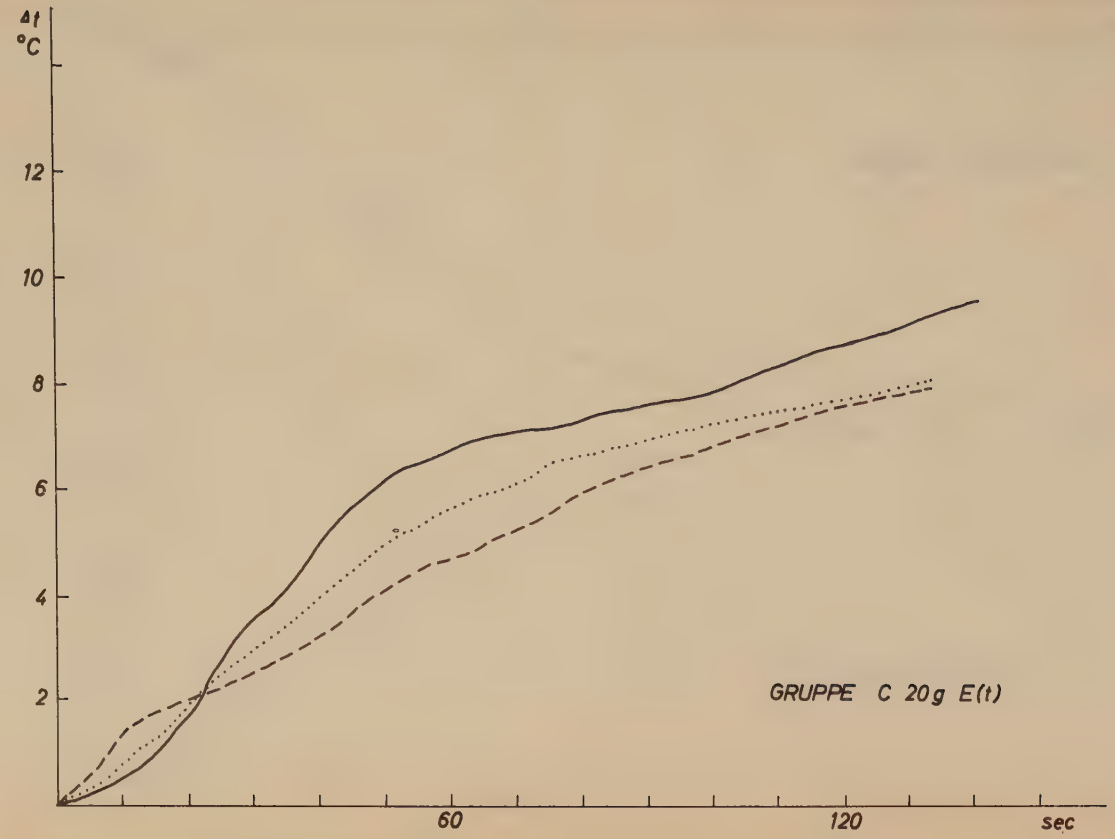
Versuche der Gruppe C

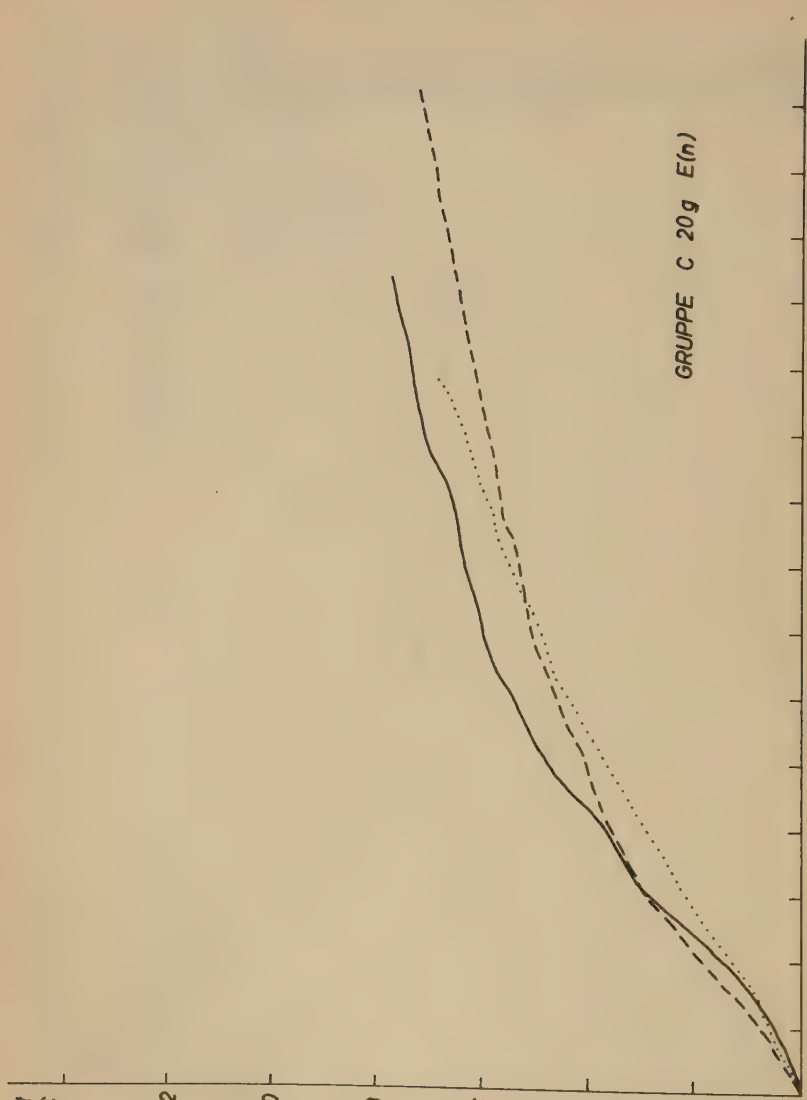
45 Versuche mit KaVo-Borden-Airotor, Turbinenkopf mit Doppelspray. Durch die beiden Spraydüsen werden bei voll geöffnetem Ventil 14 ccm Wasser pro Minute gefördert.

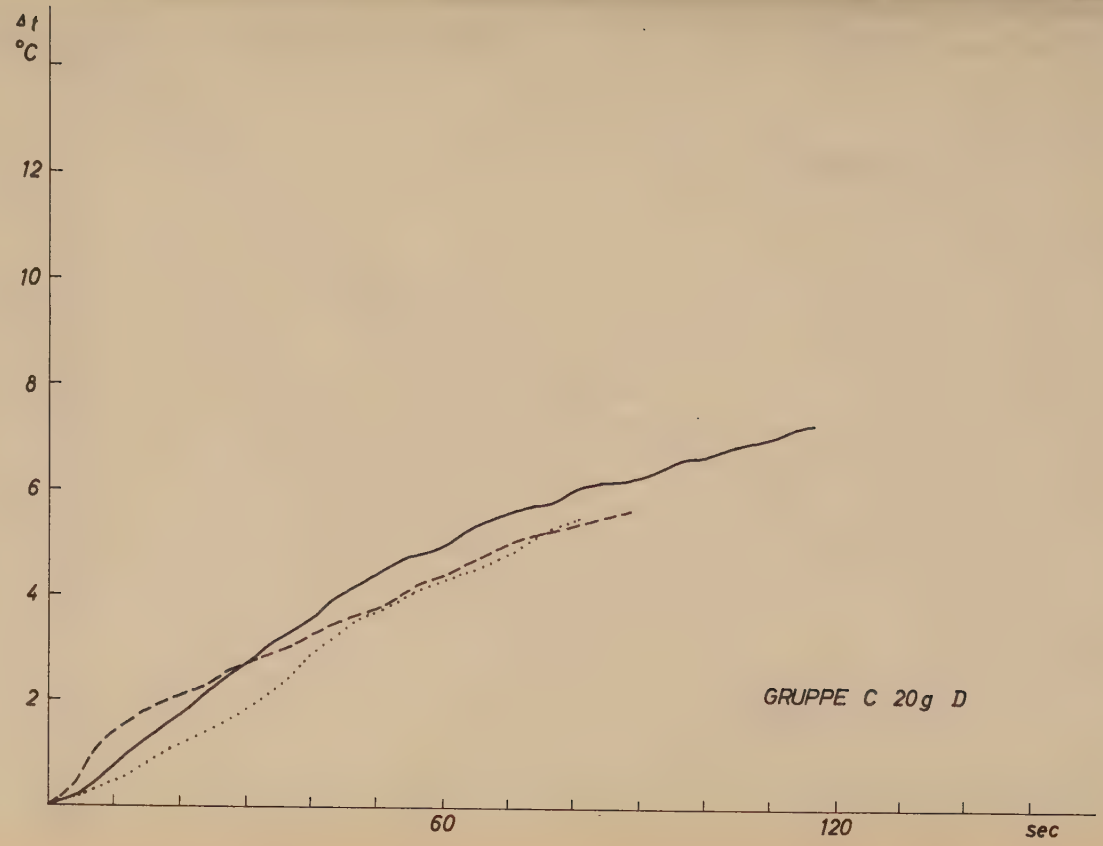
Spraytemperatur: 22^{o}C

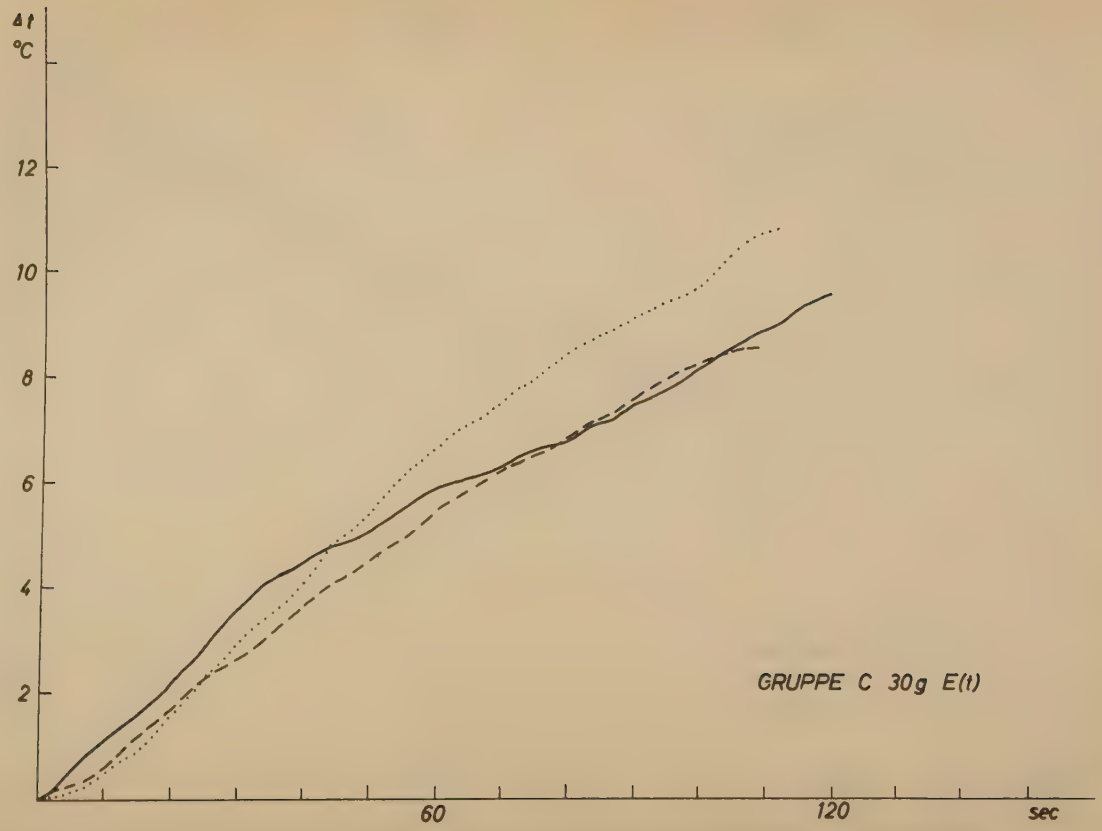
Tourenzahl: 300 000 U/min

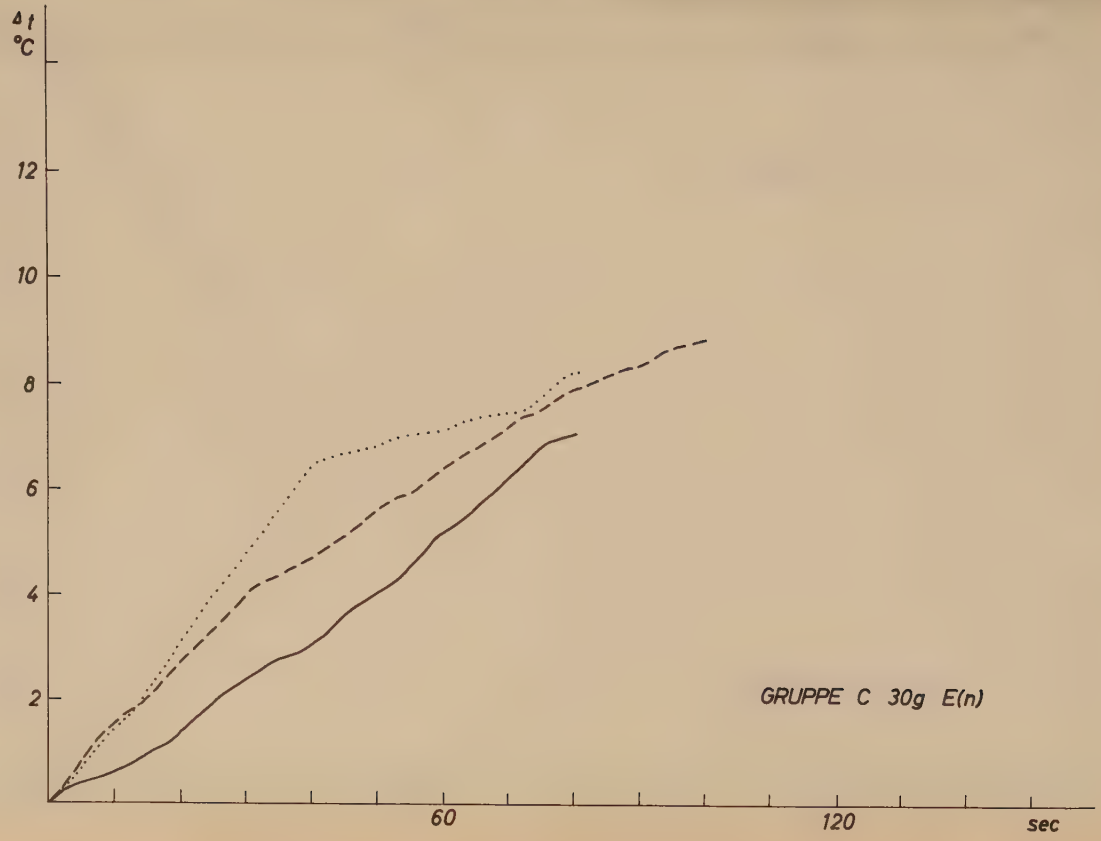
Vorschubkraft: 20g, 30g, 50g

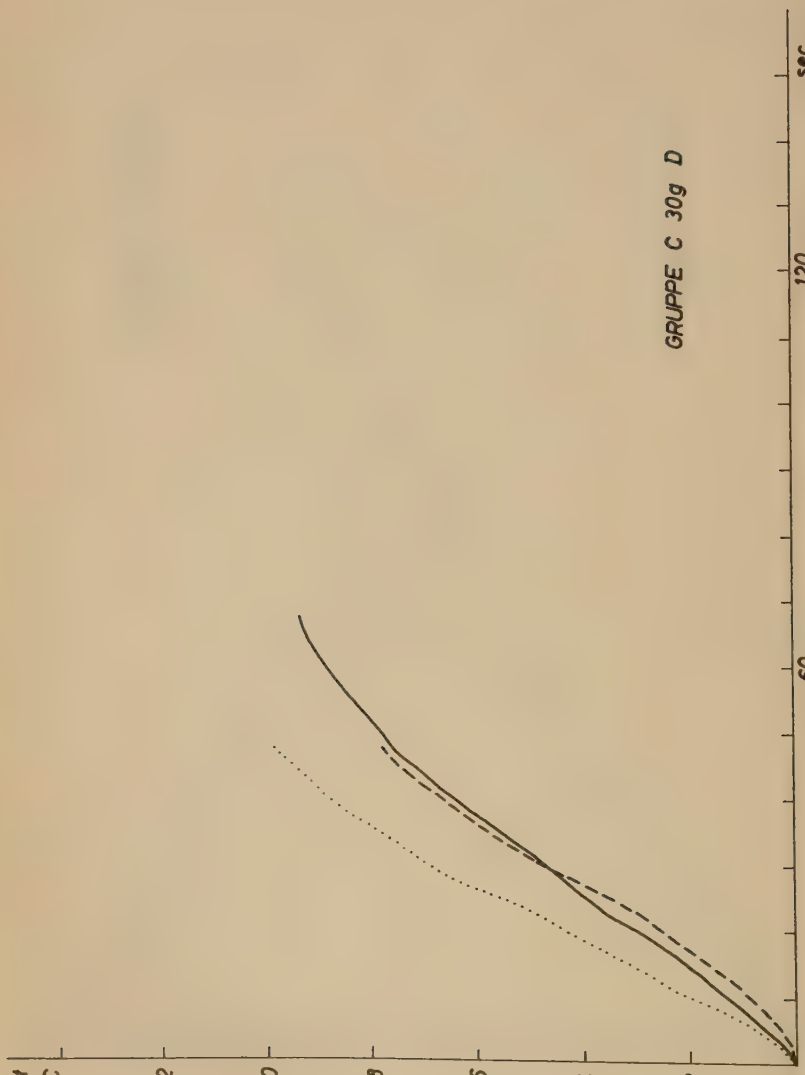

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE C 20g E(t)

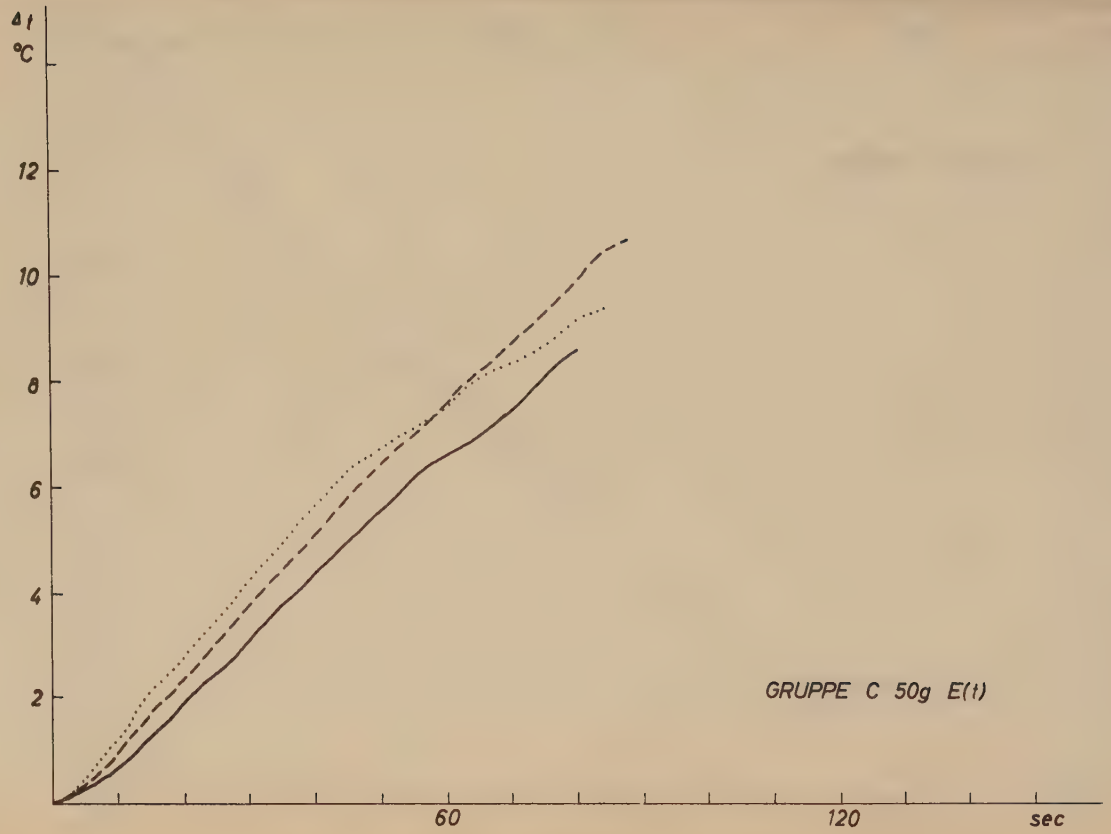

GRUPPE C 20g E(n)
Δt °C
2
4
6
8
10
12
60
120
sec

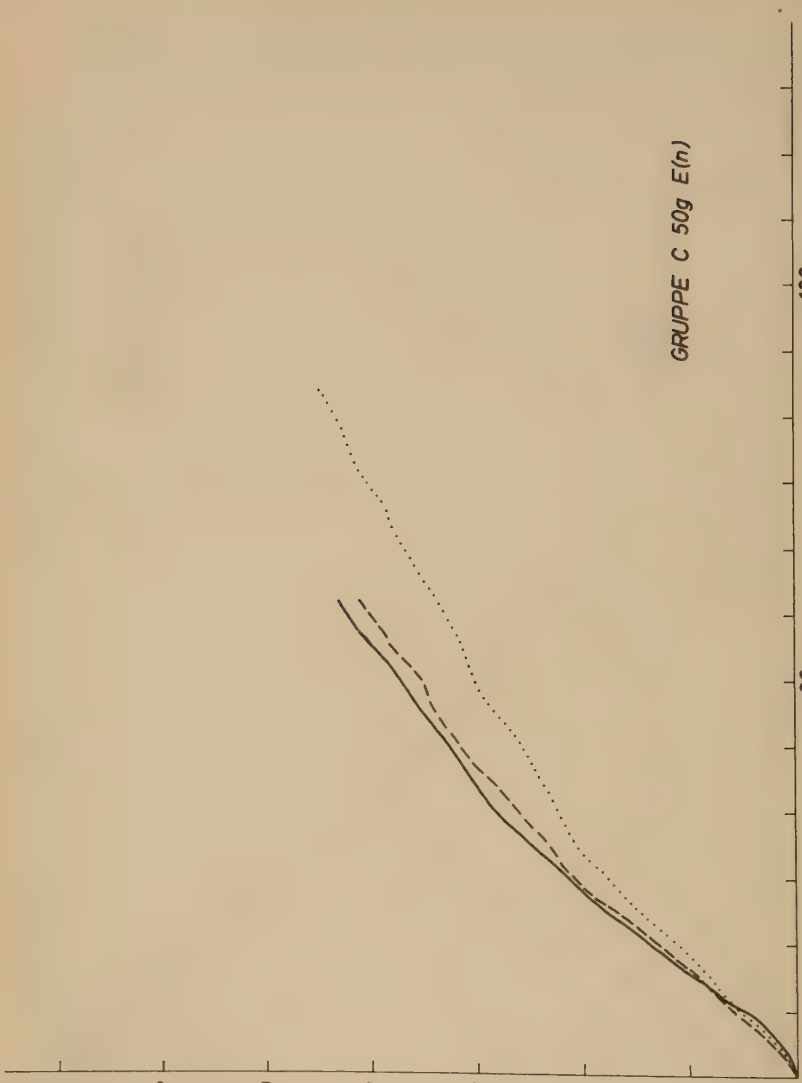

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE C 20g D

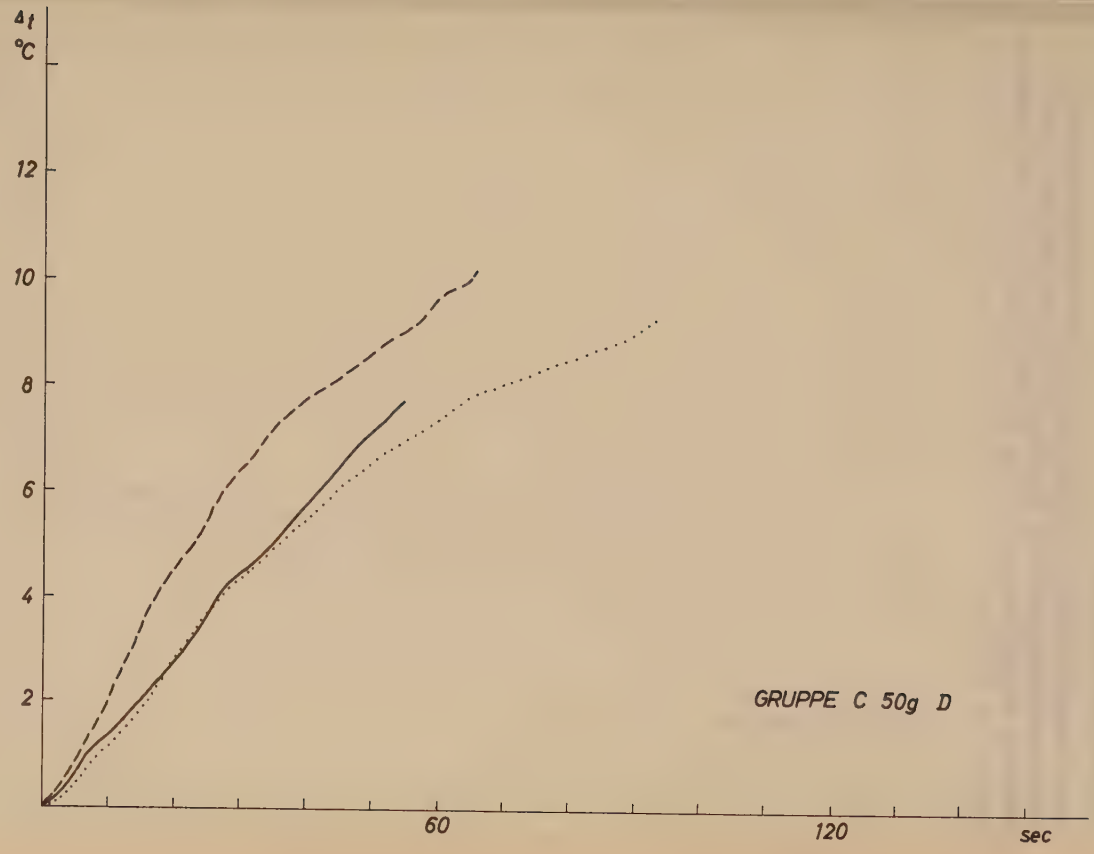

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE C 30g E(t)


Δ t
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE C 30g E(n)


Δt °C
2
4
6
8
10
12
60
120
sec
GRUPPE C 30g D

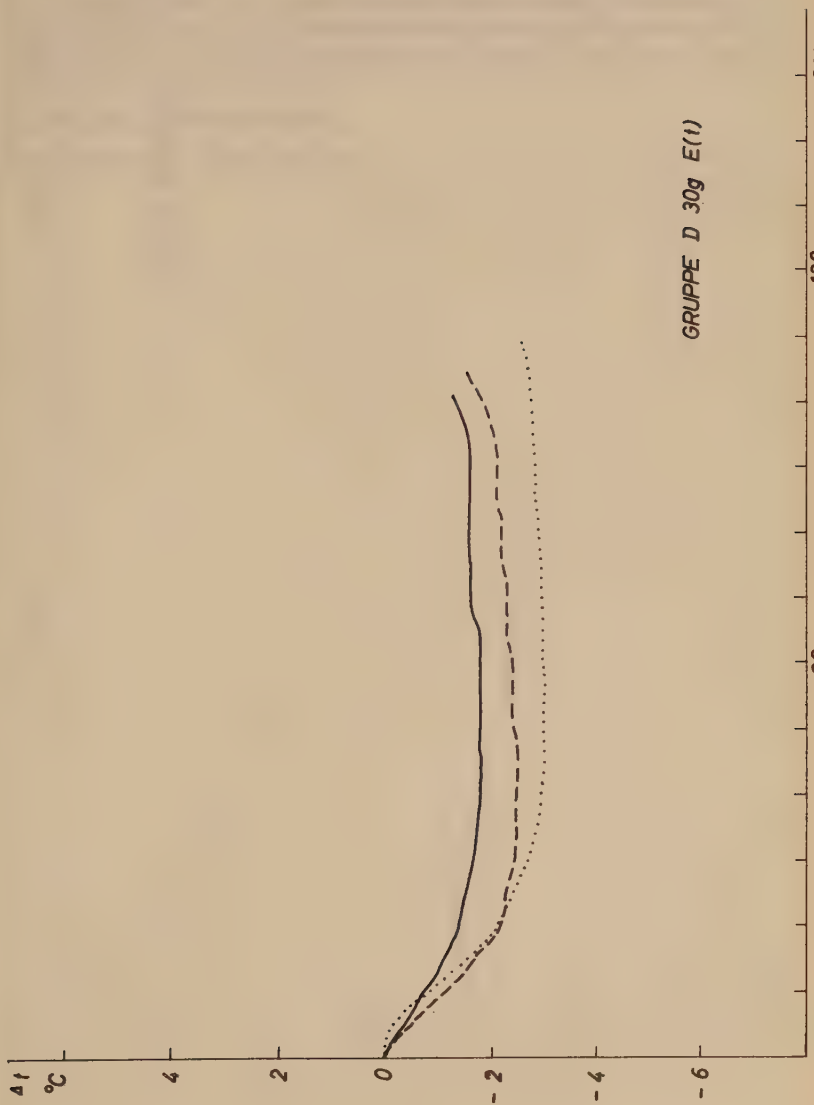

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE C 50g E(t)

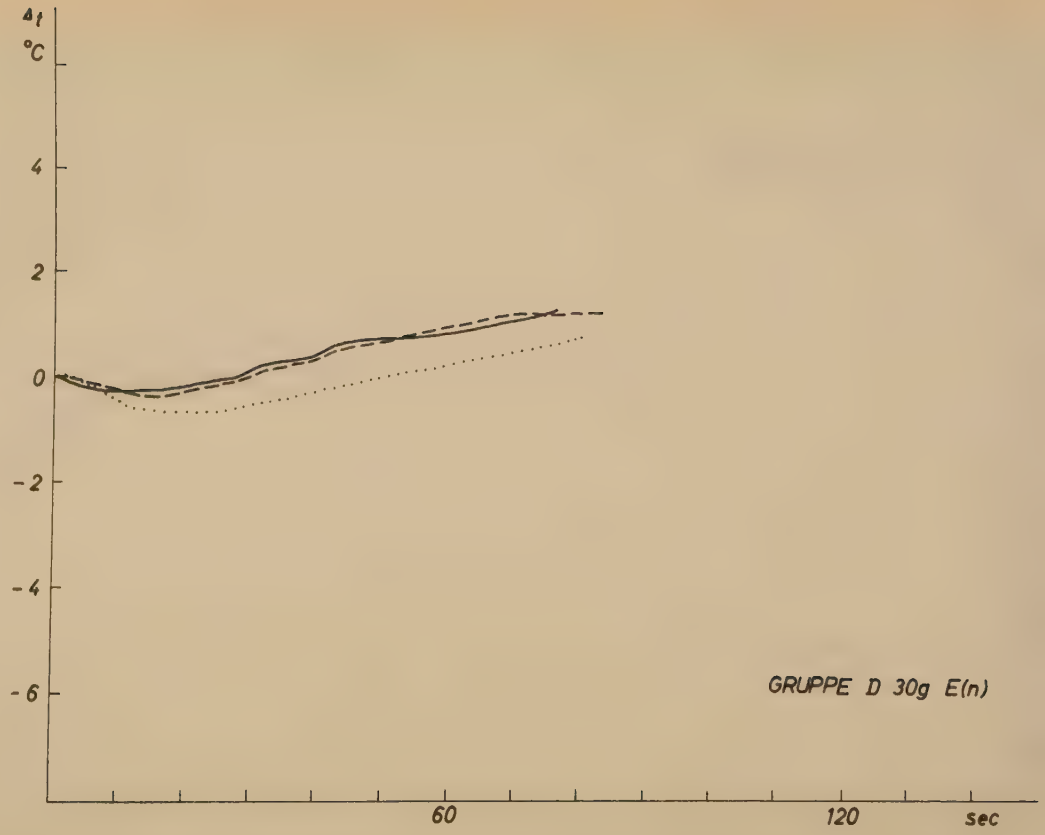

GRUPPE C 50g E(n)
Δt °C
2
4
6
8
10
12
60
120
sec


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE C 50g D

Versuche der Gruppe D

Diese Gruppe umfaßt 10 Versuche mit dem KaVo-Borden-Airotor. Der Doppelspray wurde mit Wasser von Zimmertemperatur (20 °C) gespeist. Im Abstand von 1 cm vor der Düse ergab sich eine Spraytemperatur von 16 °C.


GRUPPE D 30g E(1)
Δt °C
4
2
0
-2
-4
-6
60
120
sec

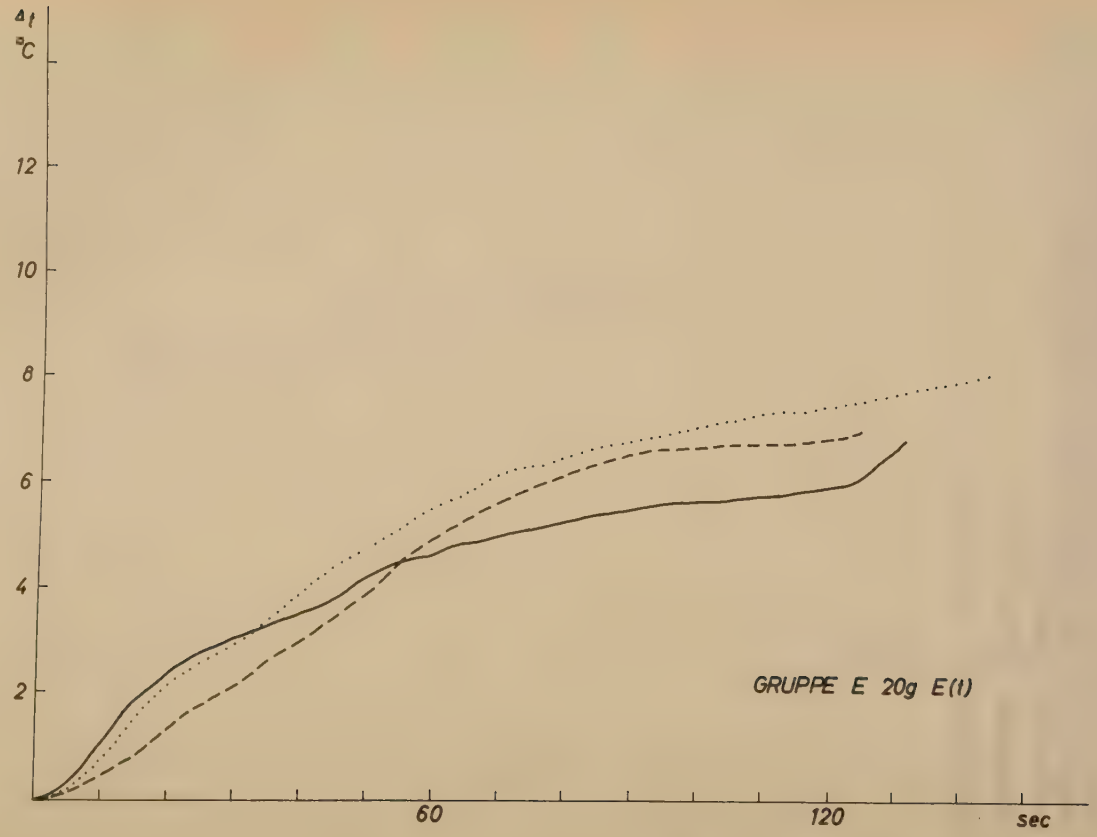

Δt
°C
4
2
0
-2
-4
-6
60
120
sec
GRUPPE D 30g E(n)

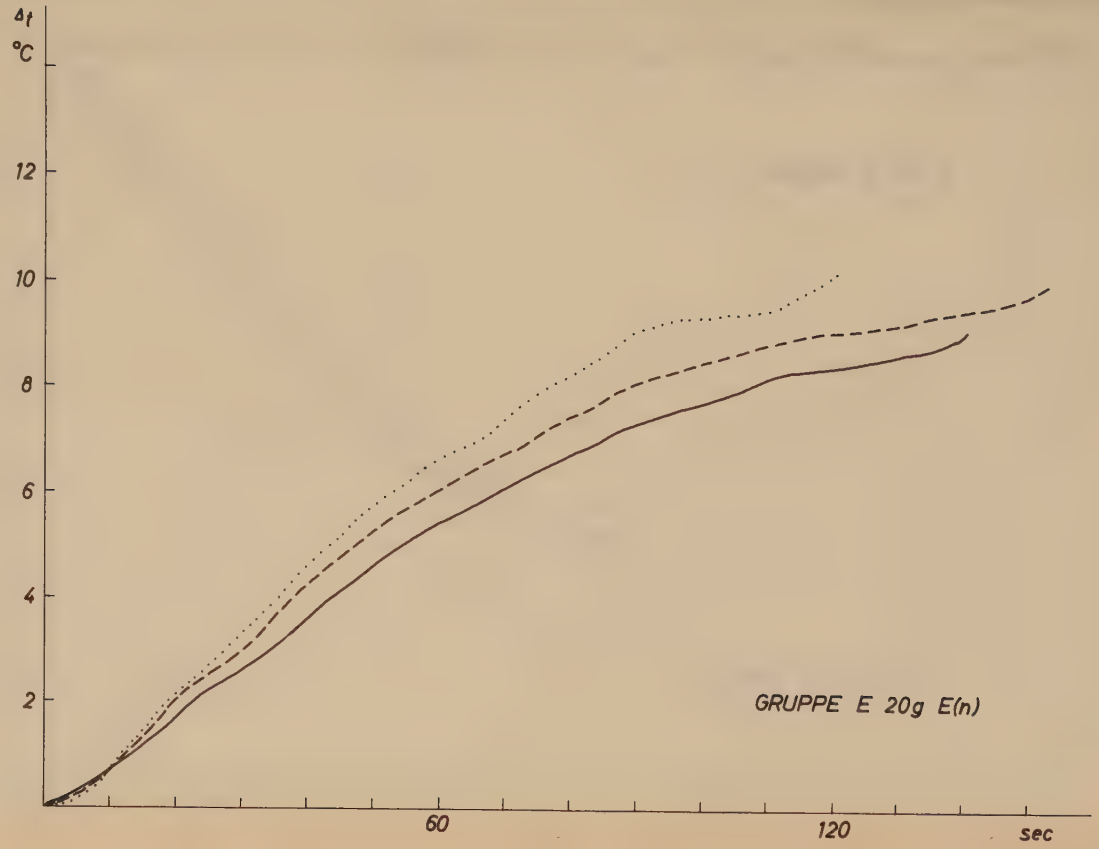
Versuche der Gruppe E

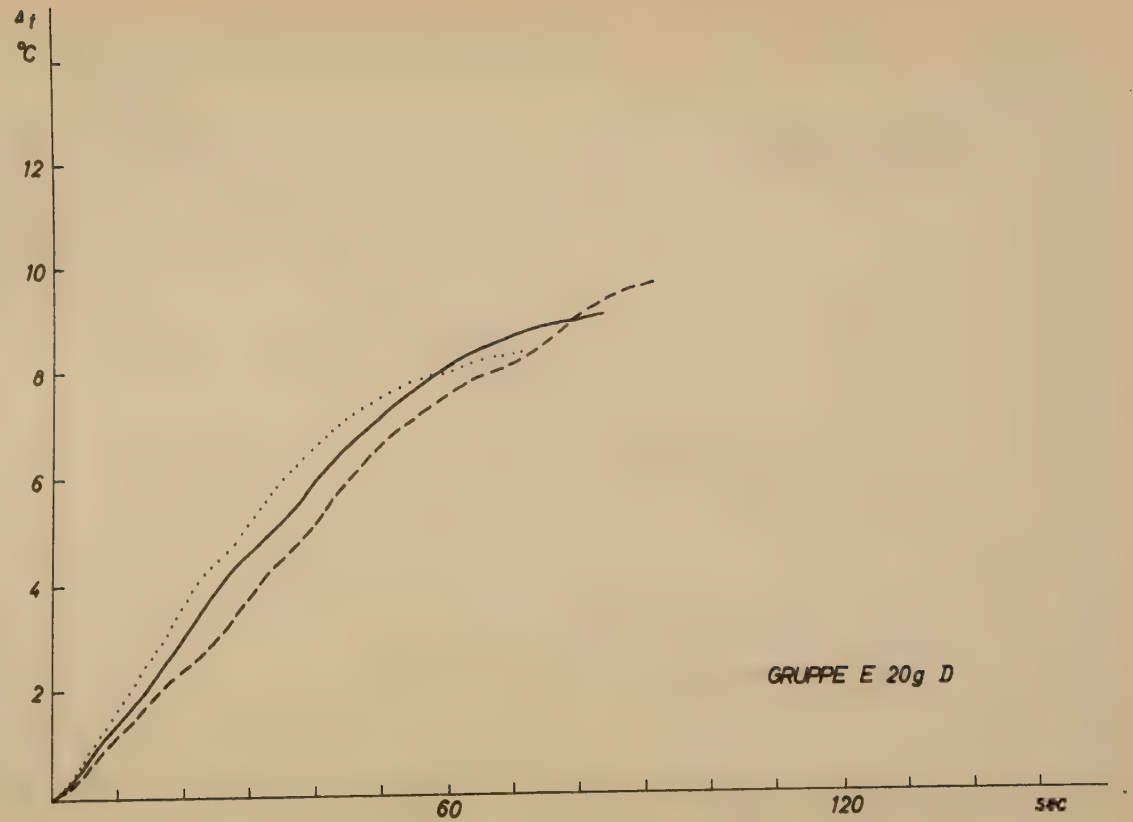
Die 45 Versuche dieser Gruppe wurden mit der Siemens-Sirona-Turbine durchgeführt. Der auswechselbare Turbinenkopf besitzt eine Düse, aus der ein auf das rotierende Instrument gerichteter Wasserstrahl austritt. Die Minutenleistung der Düse beträgt 23 ccm, die Temperatur des Wassers 38 °C.

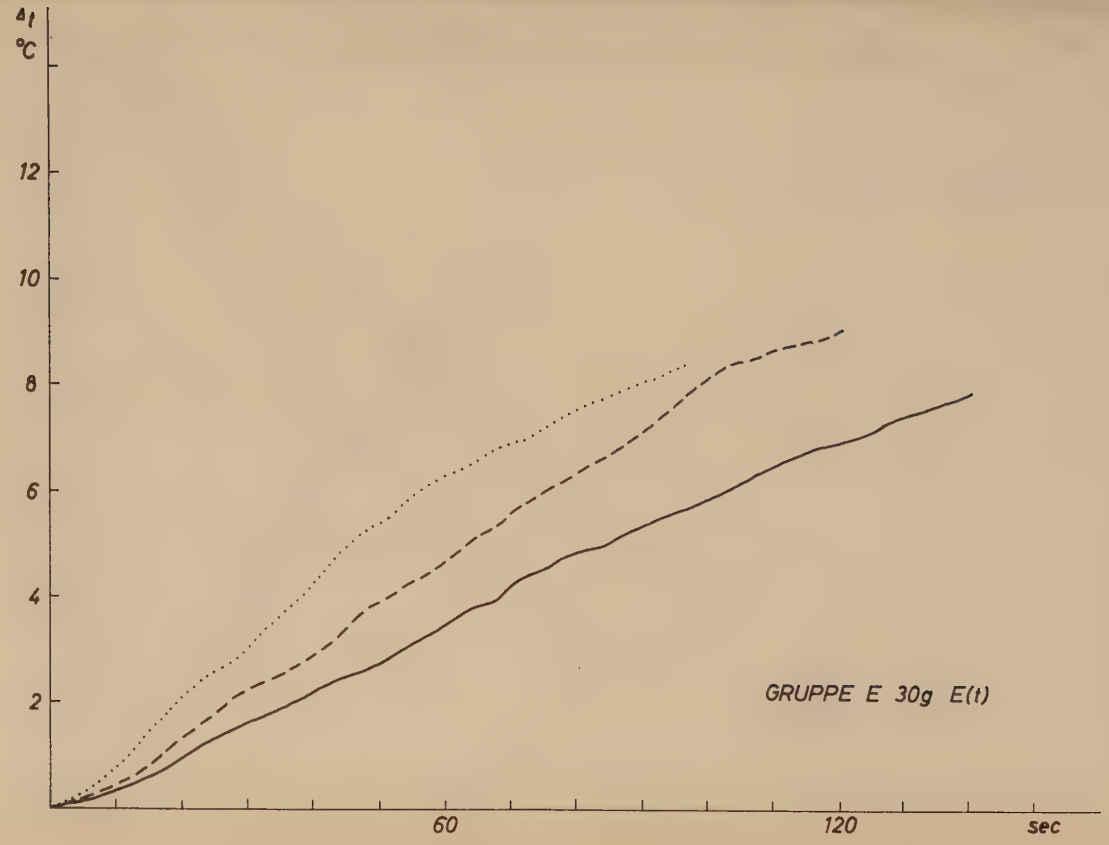
Tourenzahl: 300 000 U/min

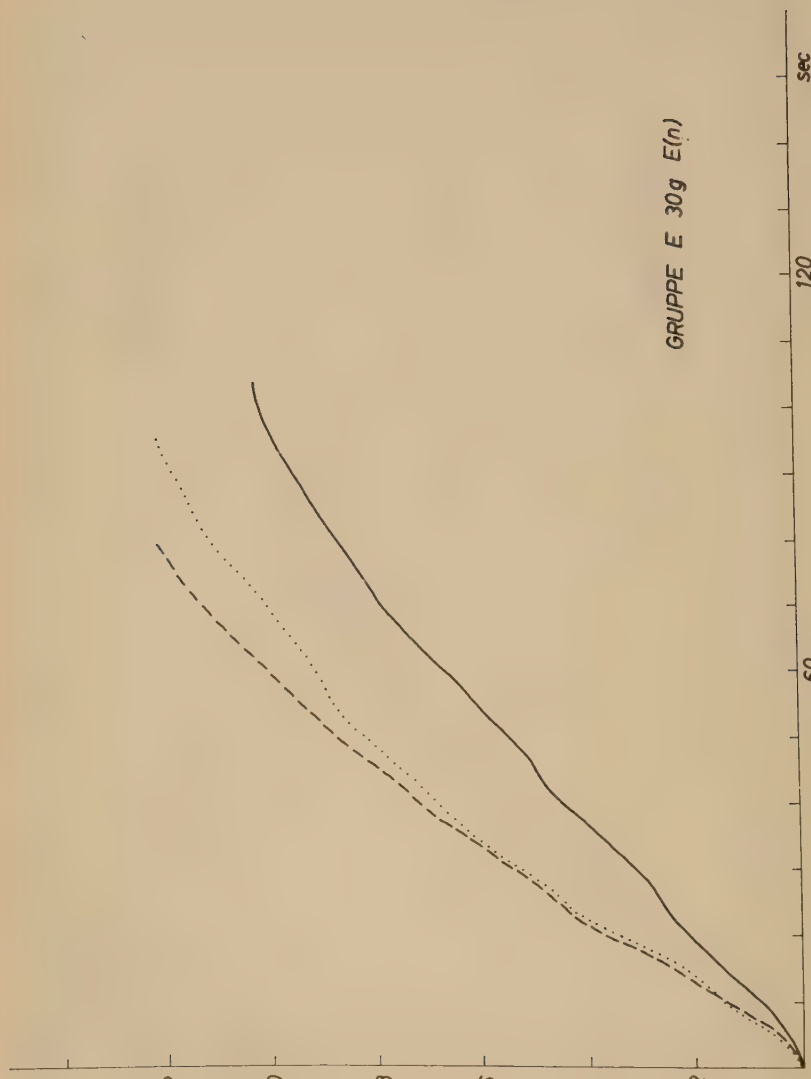
Vorschubkraft: 20g, 30g, 50g

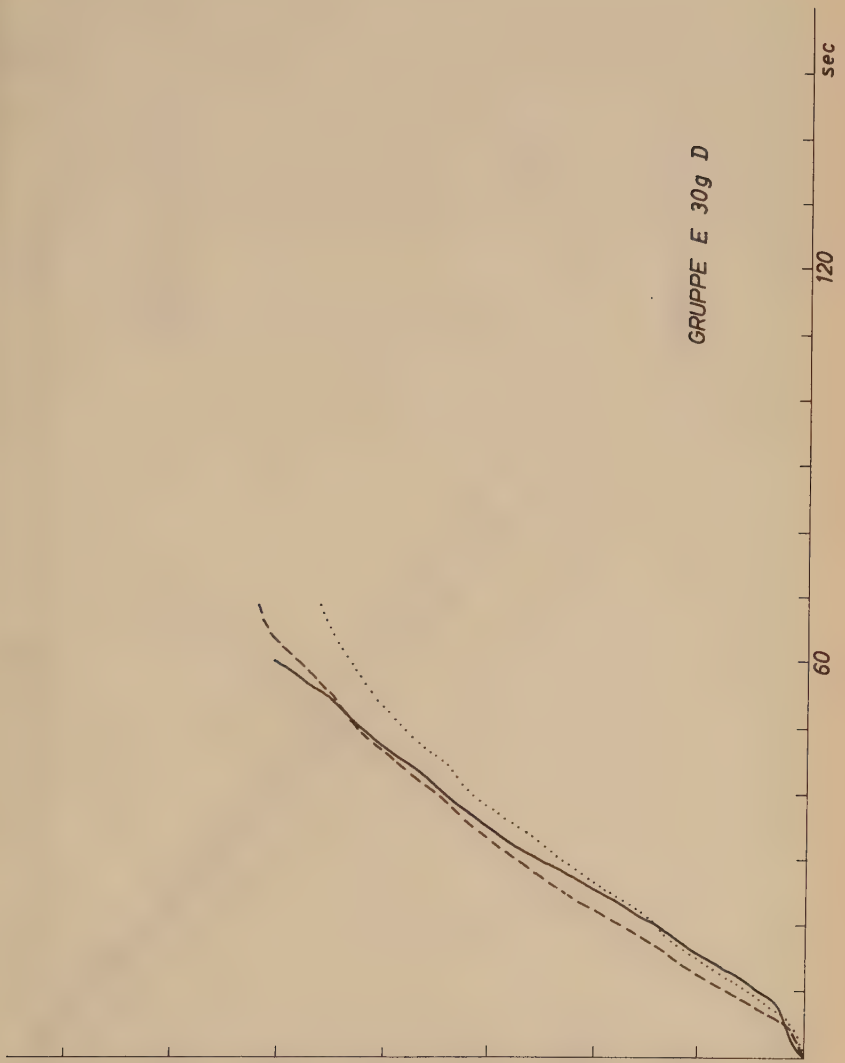

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE E 20g E(1)

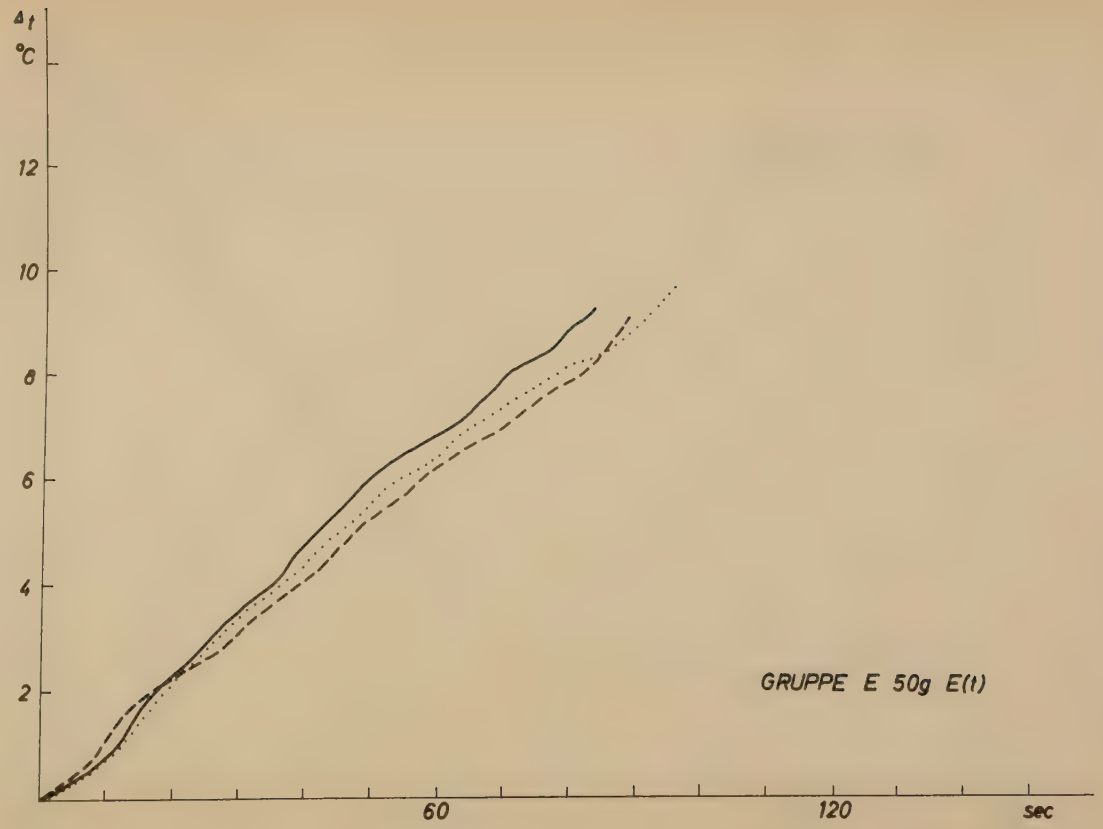

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE E 20g E(n)

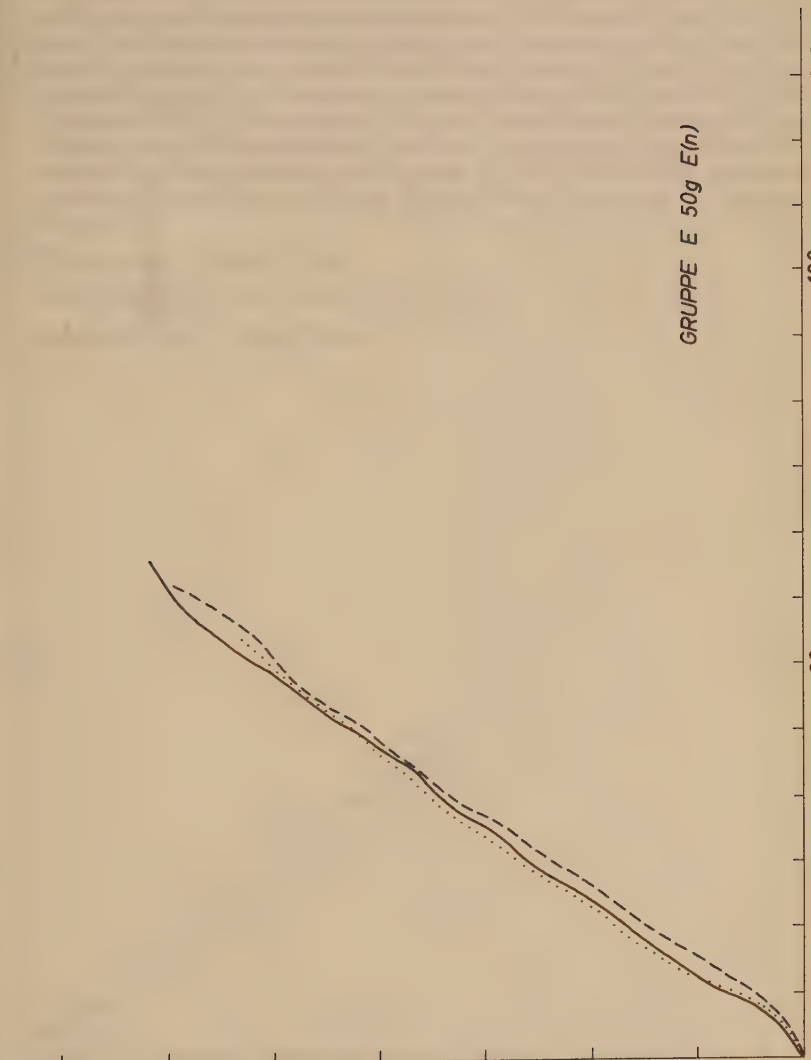

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
SEC
GRUPPE E 20g D

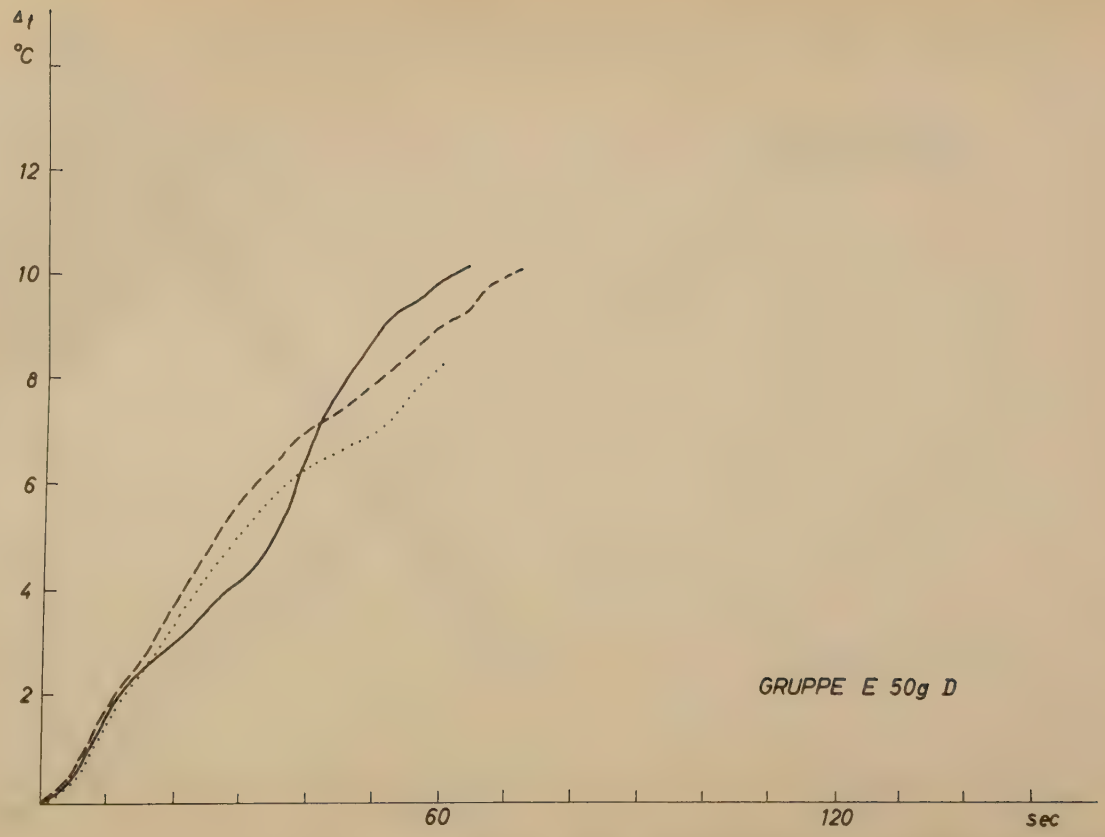

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE E 30g E(t)


GRUPPE E 30g E(n)
Δt °C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec


GRUPPE E 30g D
Δ_1 °C
2
4
6
8
10
12
60
120
sec


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE E 50g E(t)


GRUPPE E 50g E(n)
Δt °C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE E 50g D

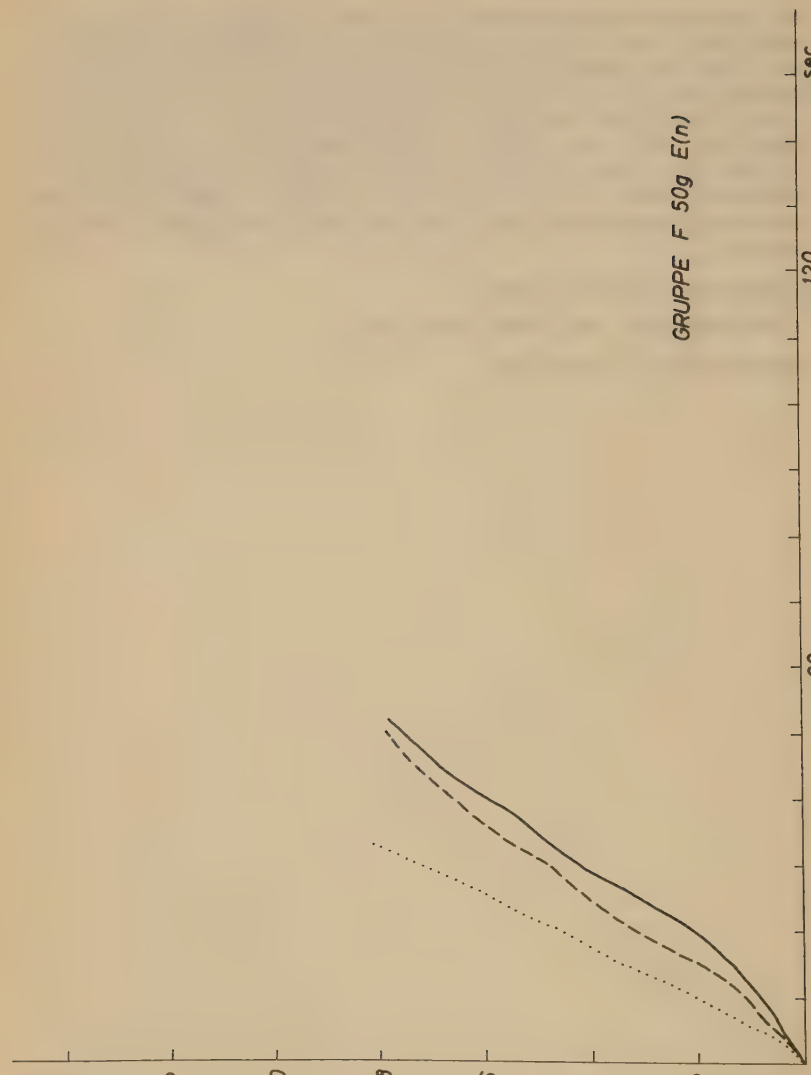
Versuche der Gruppe F

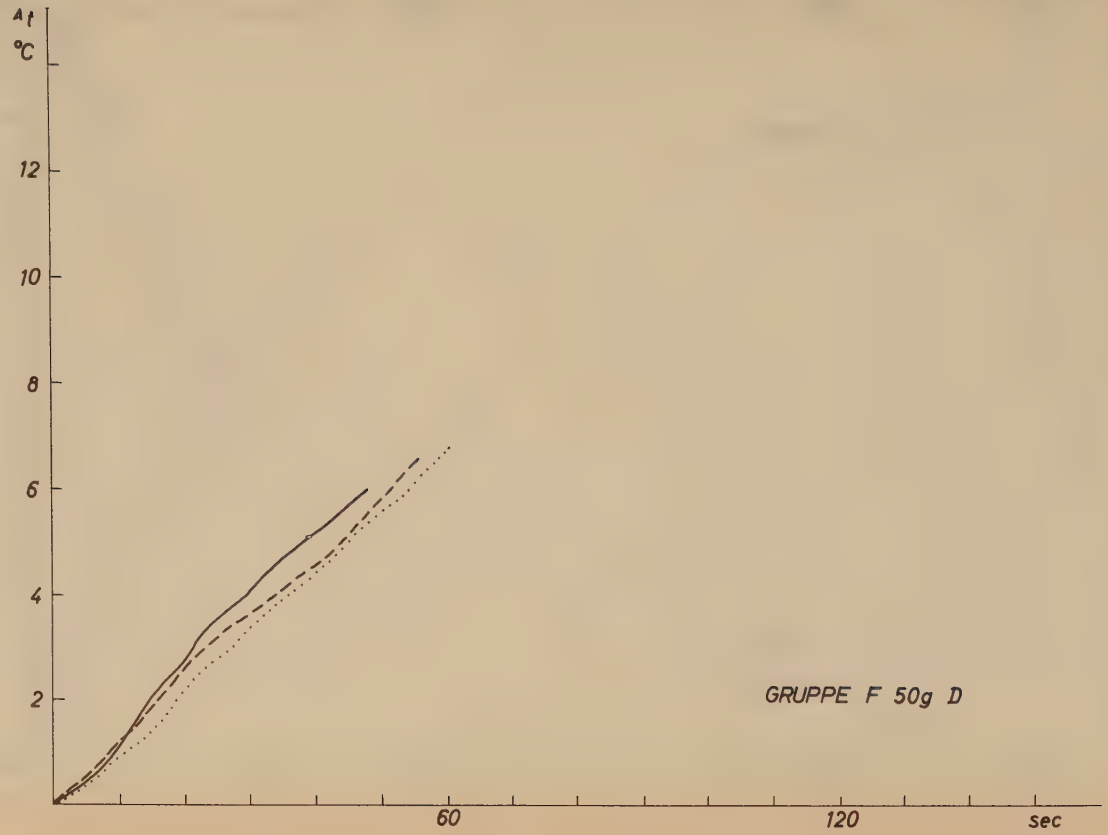
Für diese 40 Versuche wurde ein maschinengetriebenes Diamant-Instrument im Kerr-Super-Speed-Handpiece verwendet (Abbildung 1 unten). Die Diamantwalze hatte die gleichen Abmessungen wie bei den vorangegangenen Versuchen (2 mm Durchmesser, 6 mm Länge) und gleiche Korngröße. Die Kühlung erfolgte durch einen Wasser-Luft-Spray von 23° C Temperatur. Eine am Winkelstück angebrachte Düse ist über einen Plastikschlauch mit der vorgeheizten Wasserflasche verbunden. Der Antrieb erfolgte über ein Doriot-Gestänge mit einem stufenlos regulierbaren Dental-Einheit-Motor der Siemens-Reiniger-Werke.

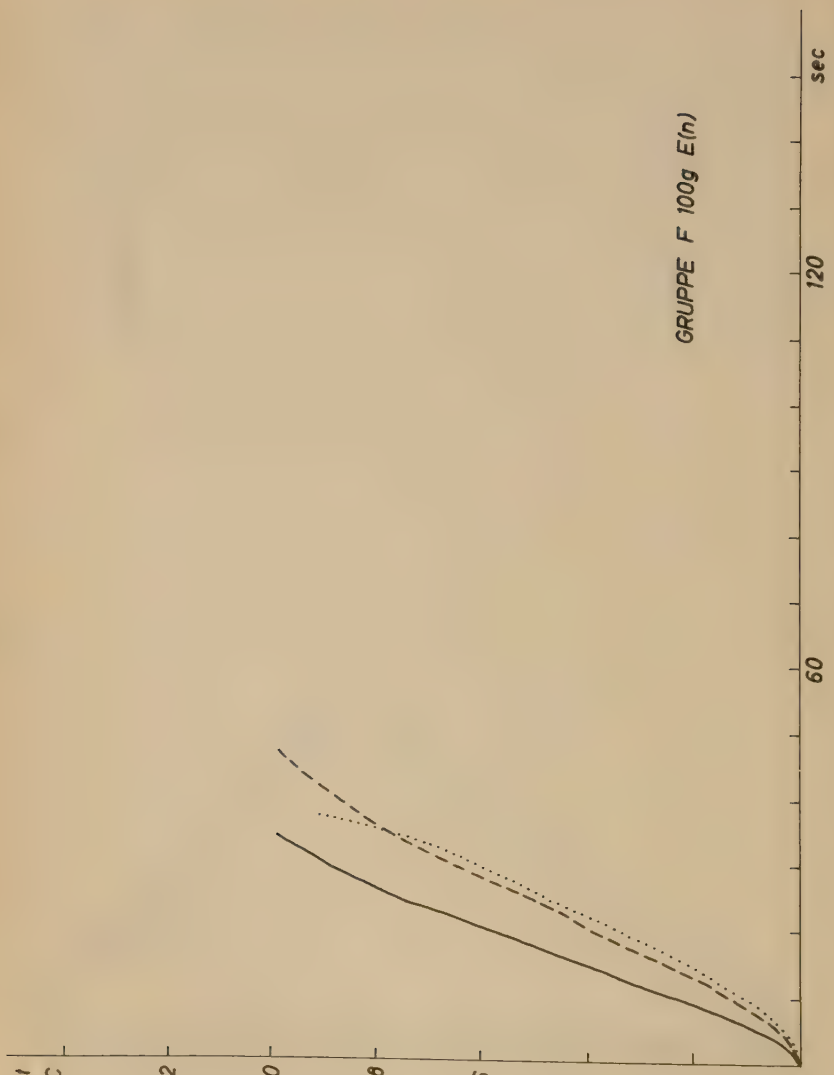
Tourenzahl: 80 000 U/min

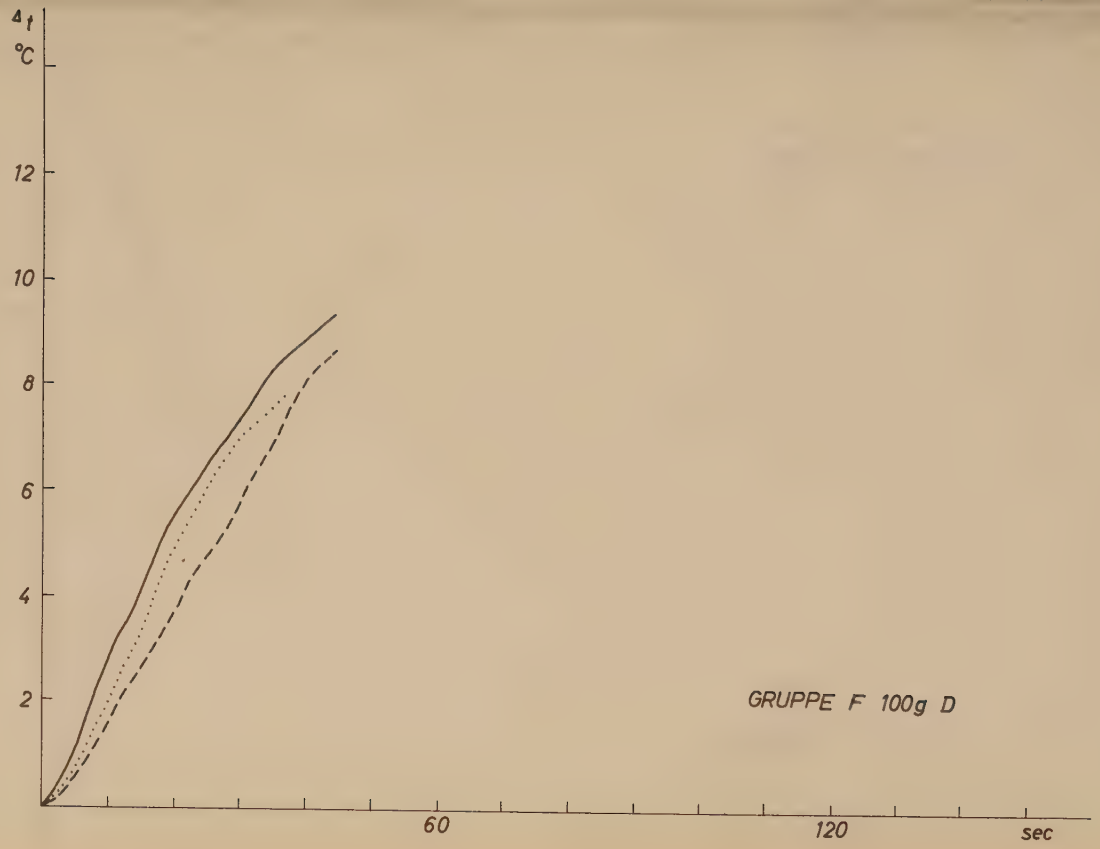
Vorschubkraft: 50g, 100g, 150g, 250g

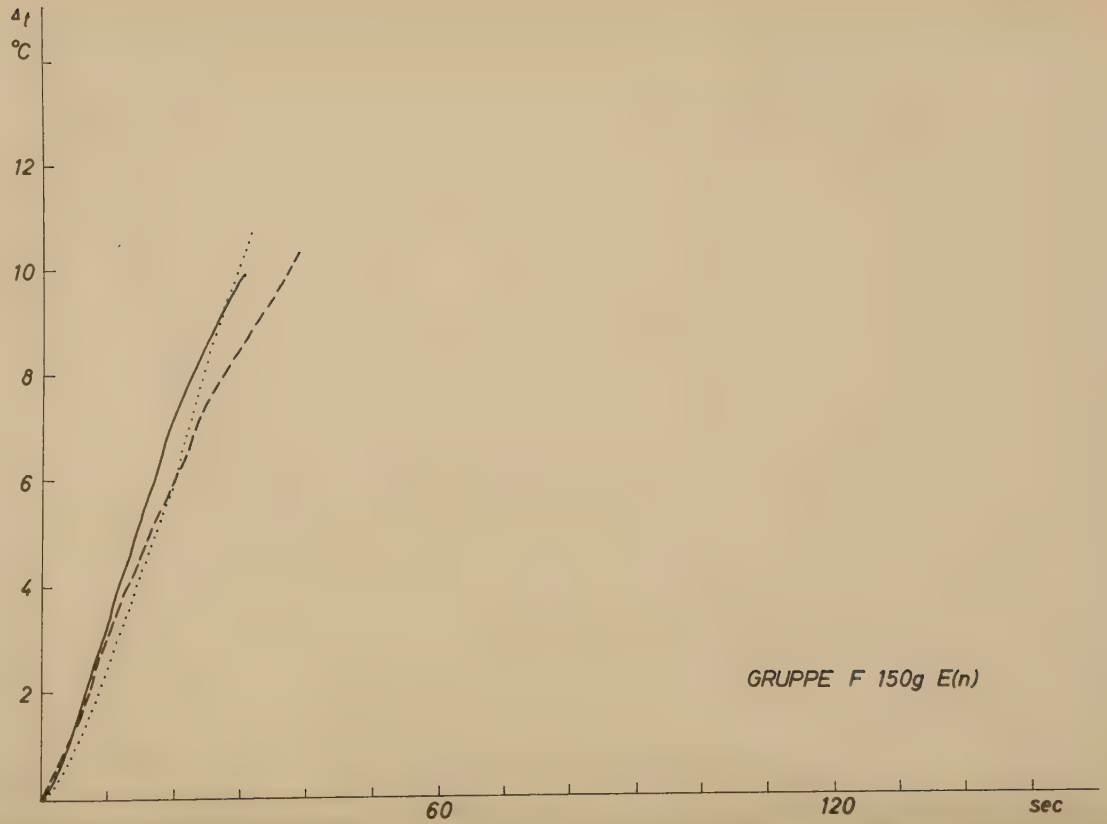
Sprayleistung: 30 ccm/min

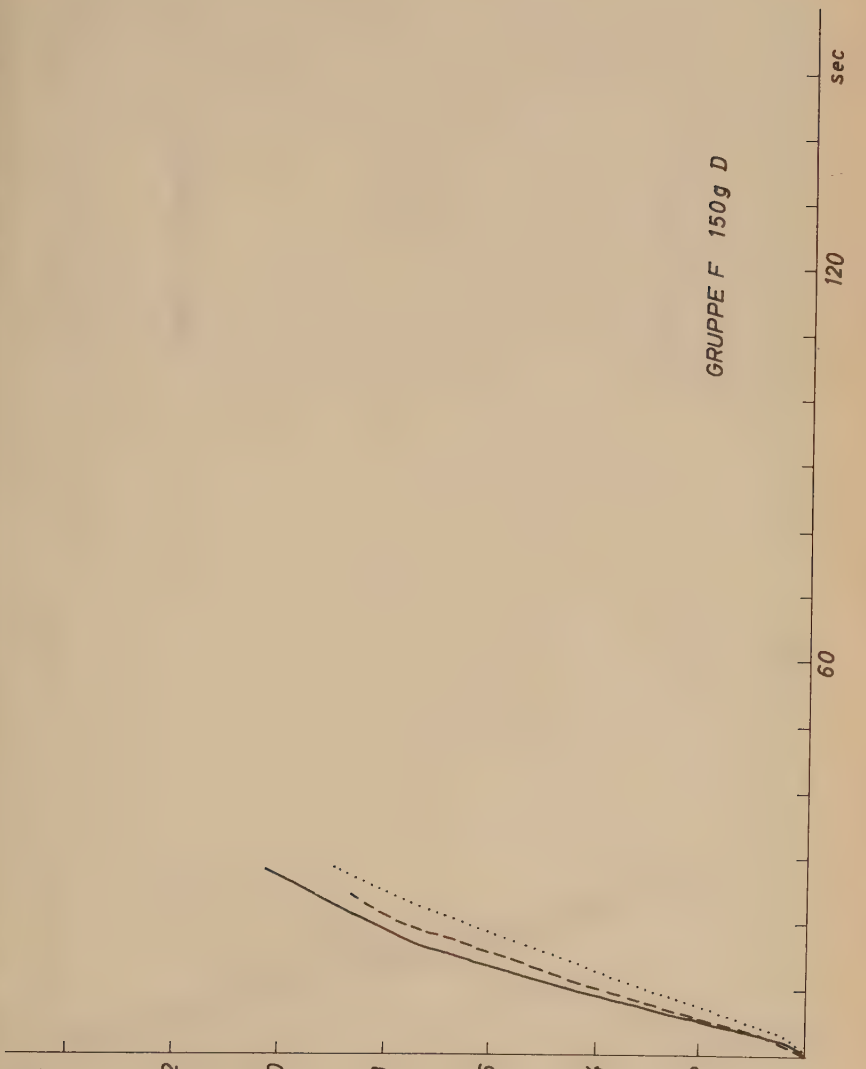

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE F 50g E(n)

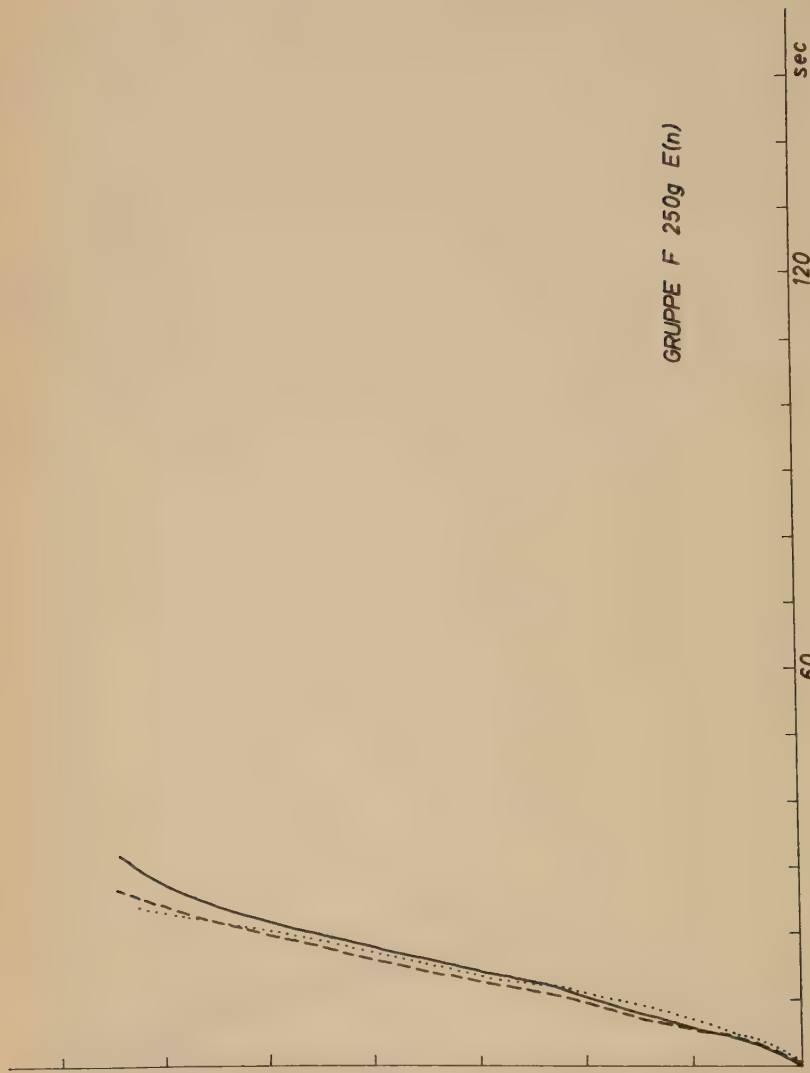

Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE F 50g D

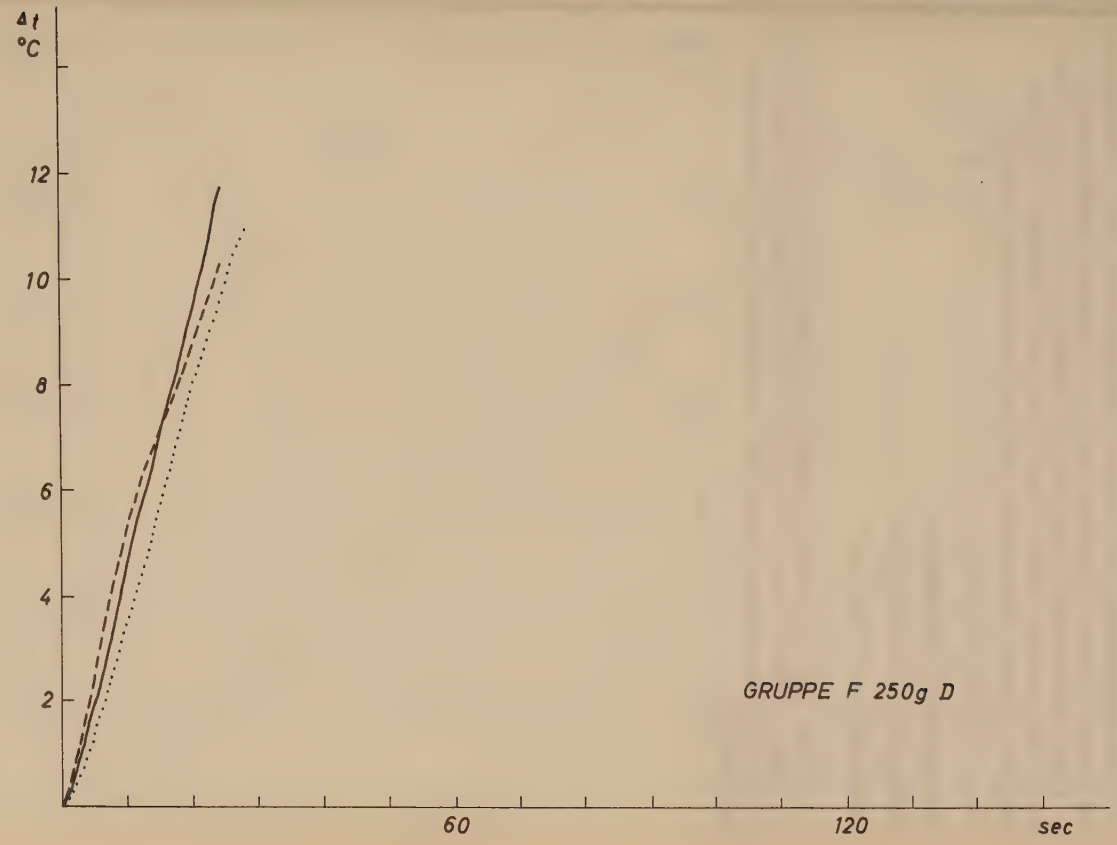

GRUPPE F 100g E(n)
Δt °C
2
4
6
8
10
12
60
120
sec


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE F 100g D


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE F 150g E(n)


GRUPPE F 150g D
Δt °C
2
4
6
8
10
12
60
120
sec


GRUPPE F 250g E(n)
41
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE F 250g D

Versuche der Gruppe G

In 30 Versuchen wurde die Temperaturentwicklung einer Diamantwalze und eines Hartmetall-Fissurenbohrers mit gleichen Abmessungen (1.3 mm Durchmesser, 5 mm Länge) untersucht. Der Antrieb geschah durch eine Siemens-Sirona-Dentalturbine mit Wasserstrahlkühlung unter den gleichen Bedingungen wie die Versuche der Gruppe E.

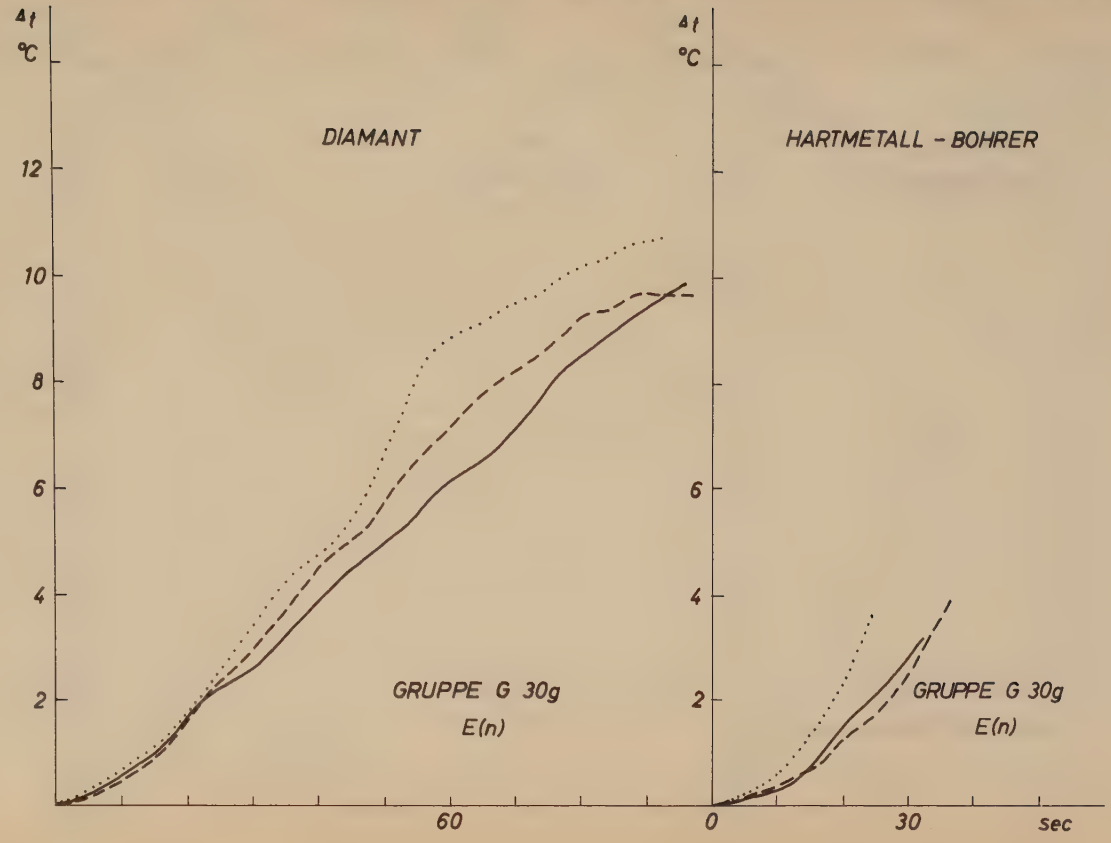
Wasserstrahltemperatur: 38 °C

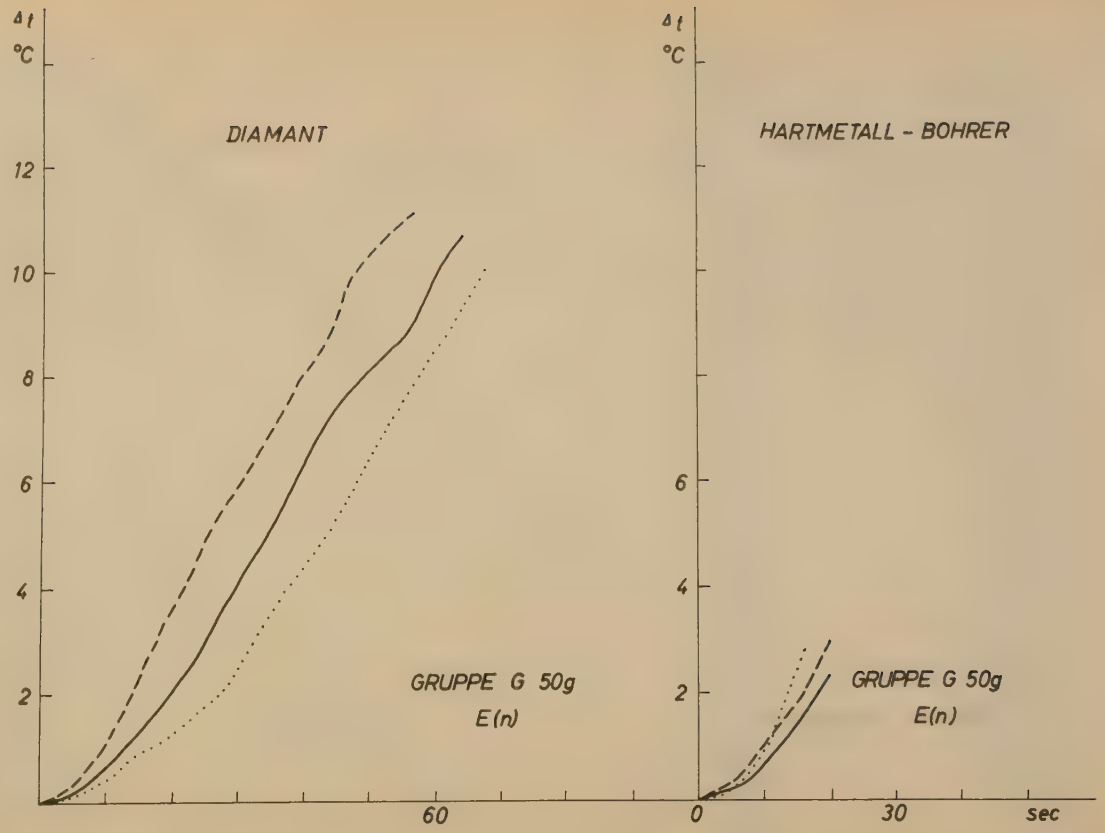
Wassermenge: 23 ccm/min

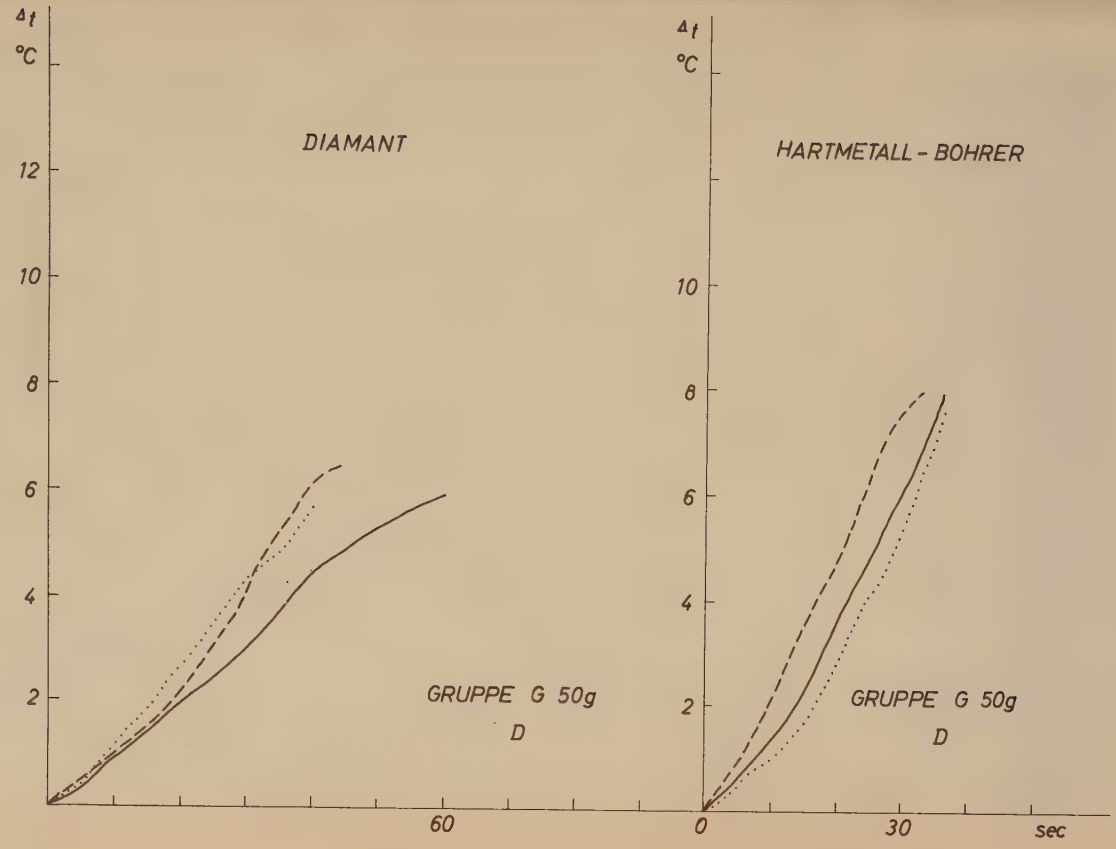
Tourenzahl: 300 000 U/min

Vorschubkraft: 30g, 50g

5 Versuche wurden jeweils mit gleicher Vorschubkraft und an gleichem Material mit dem Diamantinstrument und dem Hartmetall-Bohrer durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den graphischen Darstellungen gegenübergestellt.

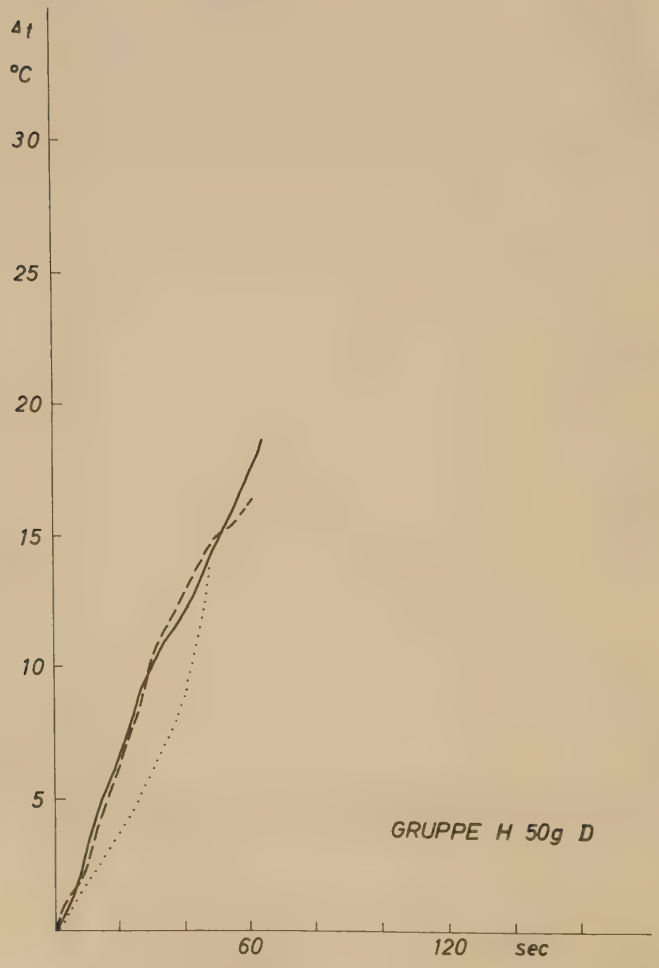

Δt
°C
DIAMANT
12
10
8
6
4
2
GRUPPE G 30g
E(n)
60
0
Δt
°C
HARTMETALL - BOHRER
6
4
2
GRUPPE G 30g
E(n)
30
sec


Δt
°C
DIAMANT
12
10
8
6
4
2
GRUPPE G 50g
E(n)
60
Δt
°C
HARTMETALL - BOHRER
6
4
2
GRUPPE G 50g
E(n)
0
30
sec


Δt
°C
DIAMANT
12
10
8
6
4
2
GRUPPE G 50g
D
60
Δt
°C
HARTMETALL - BOHRER
10
8
6
4
2
GRUPPE G 50g
D
0
30
sec

Versuche der Gruppe H

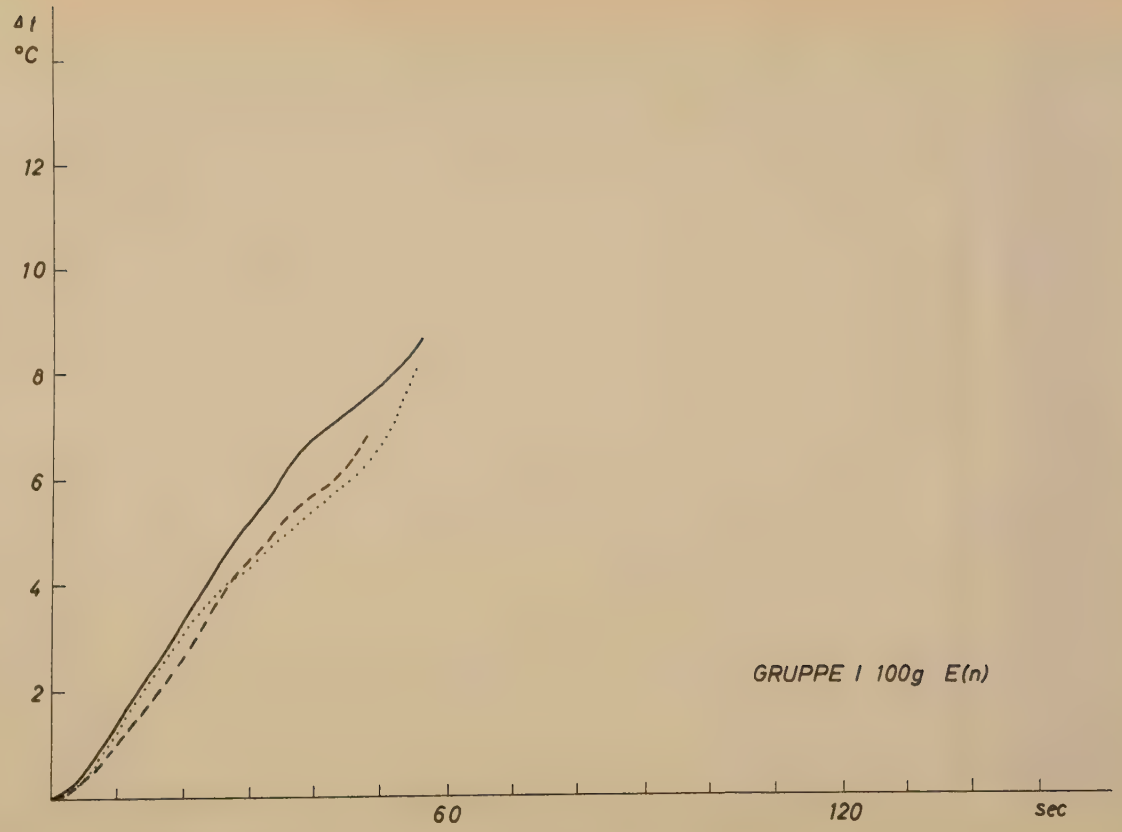
5 Versuche unter den gleichen Bedingungen wie in Gruppe G. Siemens-Sirona-Turbine, Hartmetall-Fissurenbohrer mit 1.3 mm Ø. Intermittierendes Bohren (Fräsen) unter Fortlassung der Hin- und Herbewegung, wobei der Bohrer jedesmal an derselben Stelle in Richtung auf das Thermoelement ansetzt.

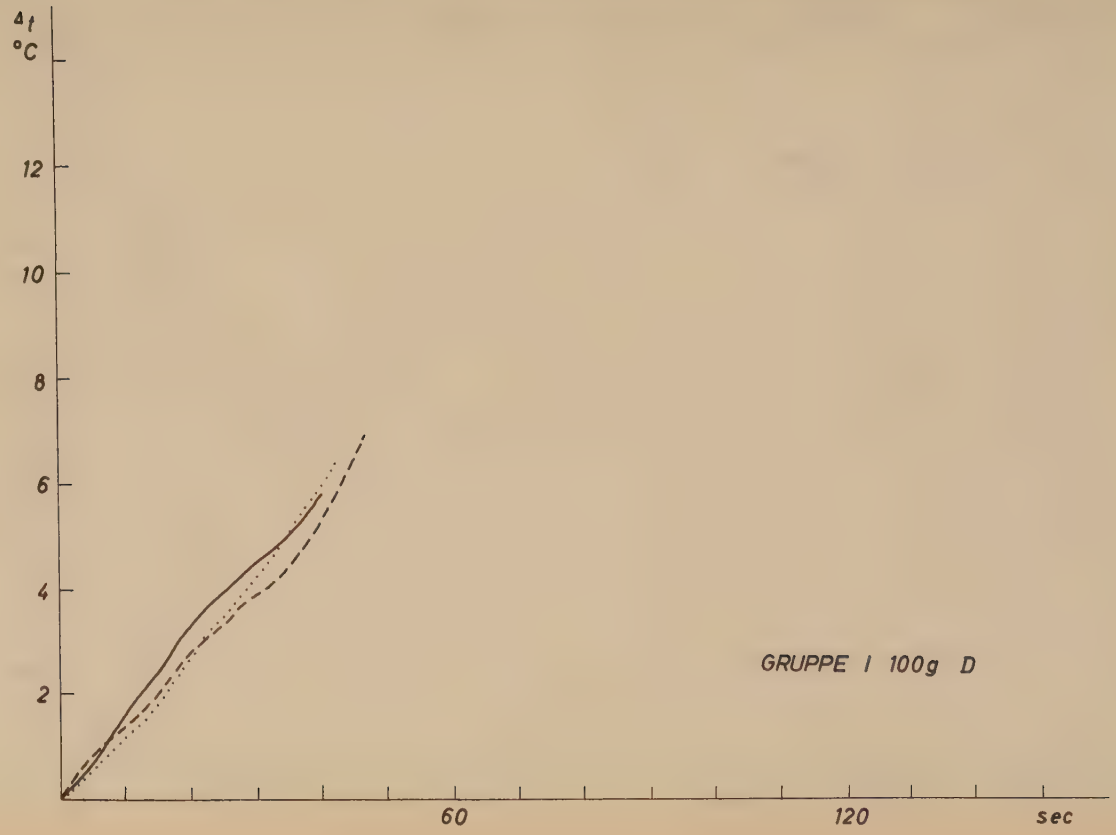


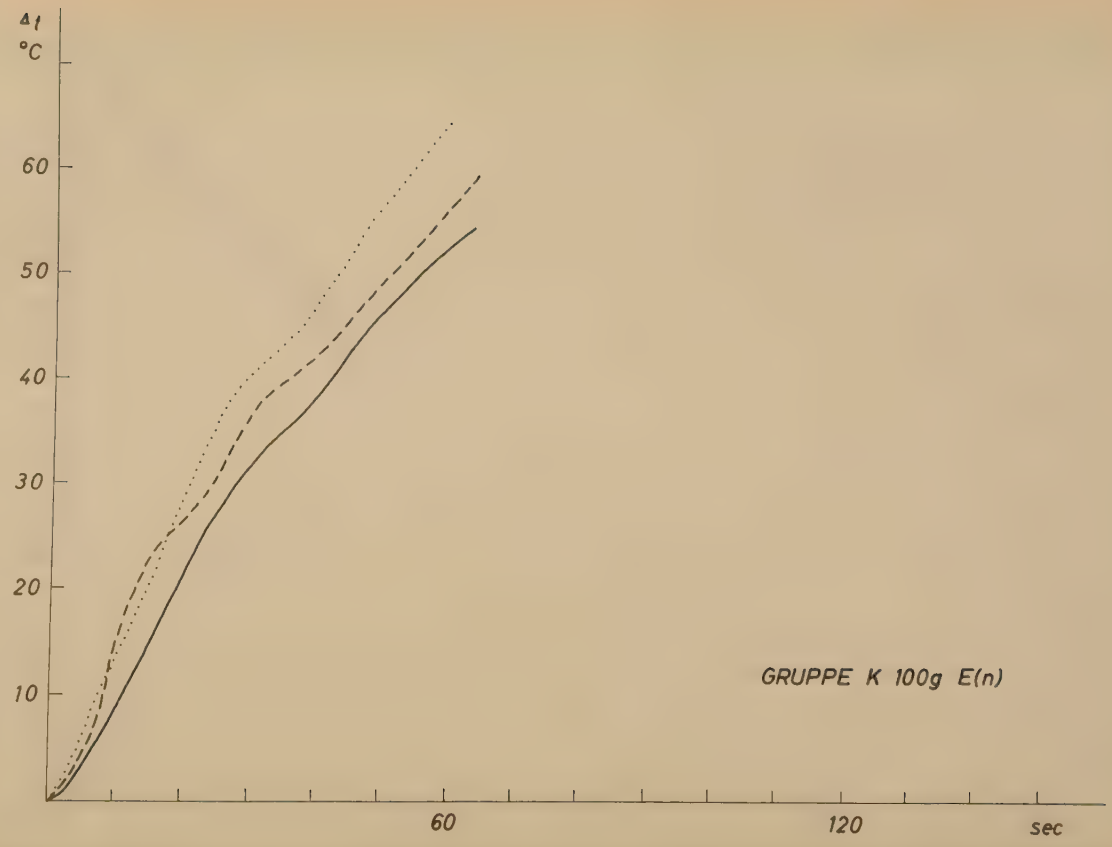
Versuche der Gruppen I und K

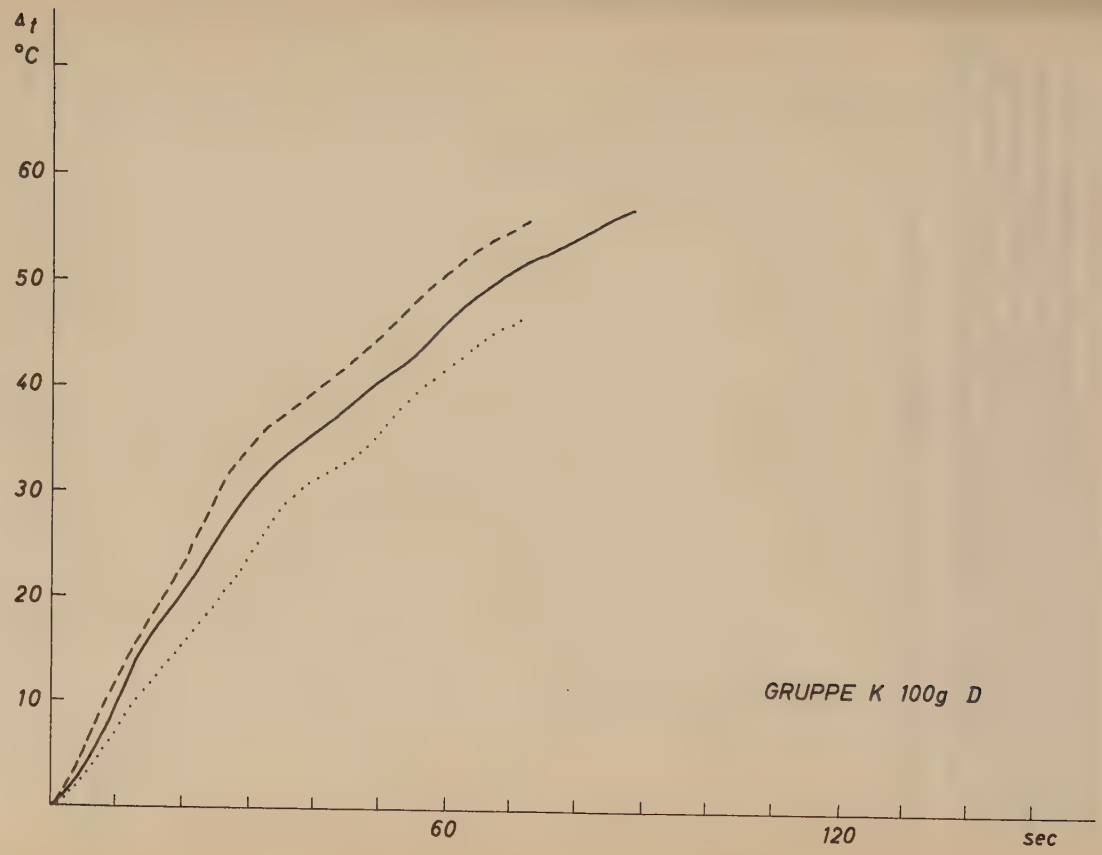
20 Schleifversuche im hochtourigen Bereich (40 000 U/min). Der Antrieb der Diamantwalze erfolgte wie bei den F-Versuchen im Kerr-Schnellauf-Winkelstück. Die Vorschubkraft betrug 100g. Bei den Versuchen der Gruppe I kam eine Spraykühlung (23 °C, 30 ccm/min) zur Anwendung.

Die Versuche der Gruppe K wurden ohne Kühlung durchgeführt.


Δ t
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE I 100g E(n)


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE I 100g D

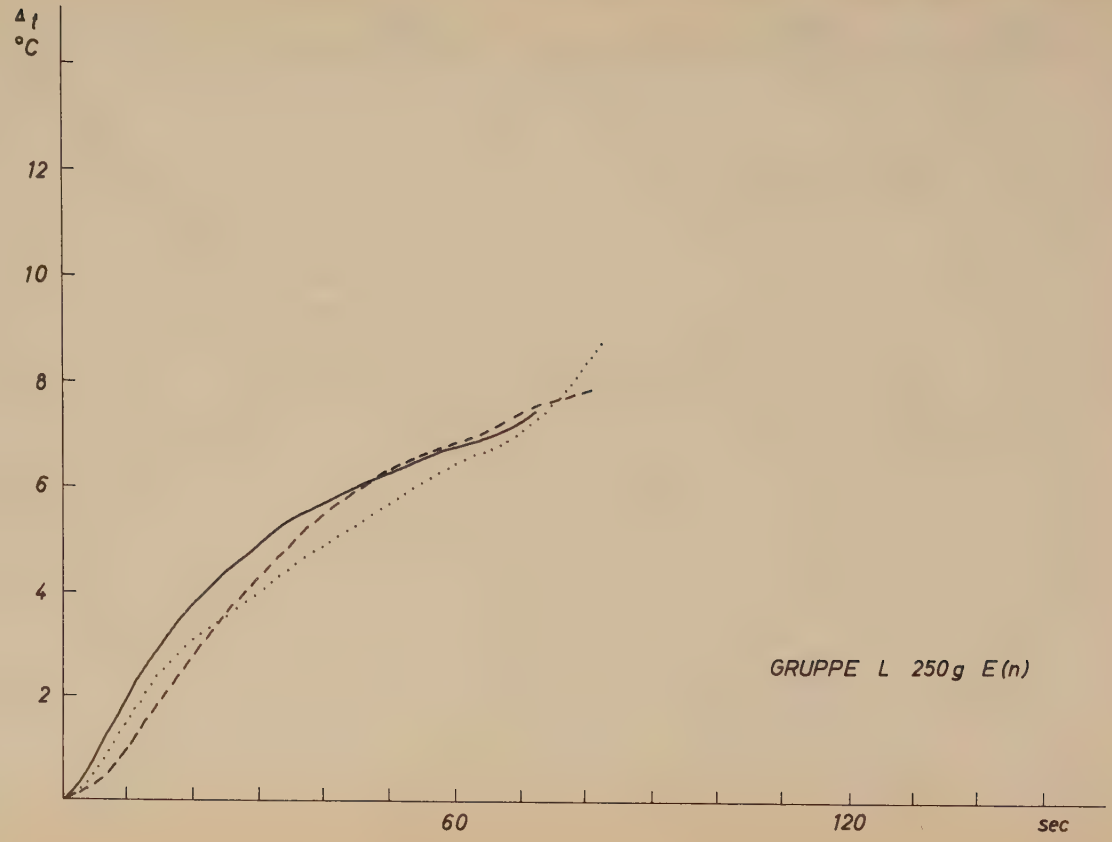

Δt
°C
60
50
40
30
20
10
60
120
sec
GRUPPE K 100g E(n)

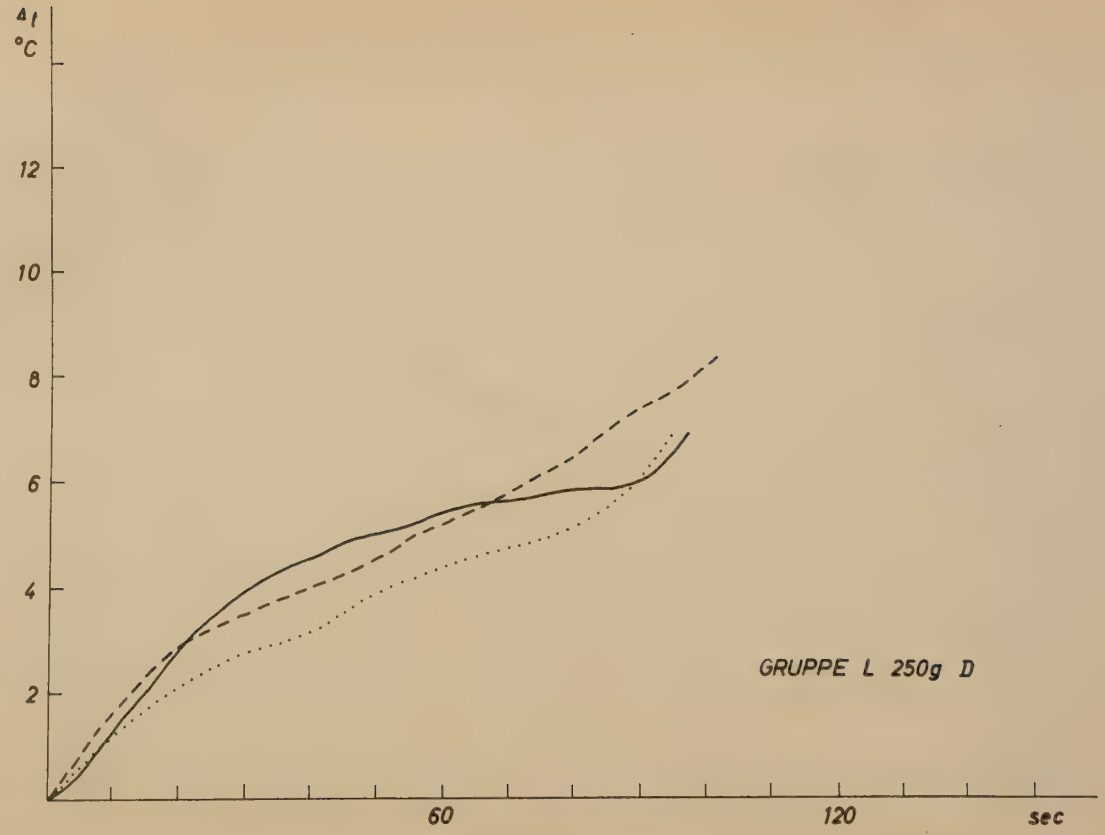

Δt
°C
60
50
40
30
20
10
60
120
sec
GRUPPE K 100g D

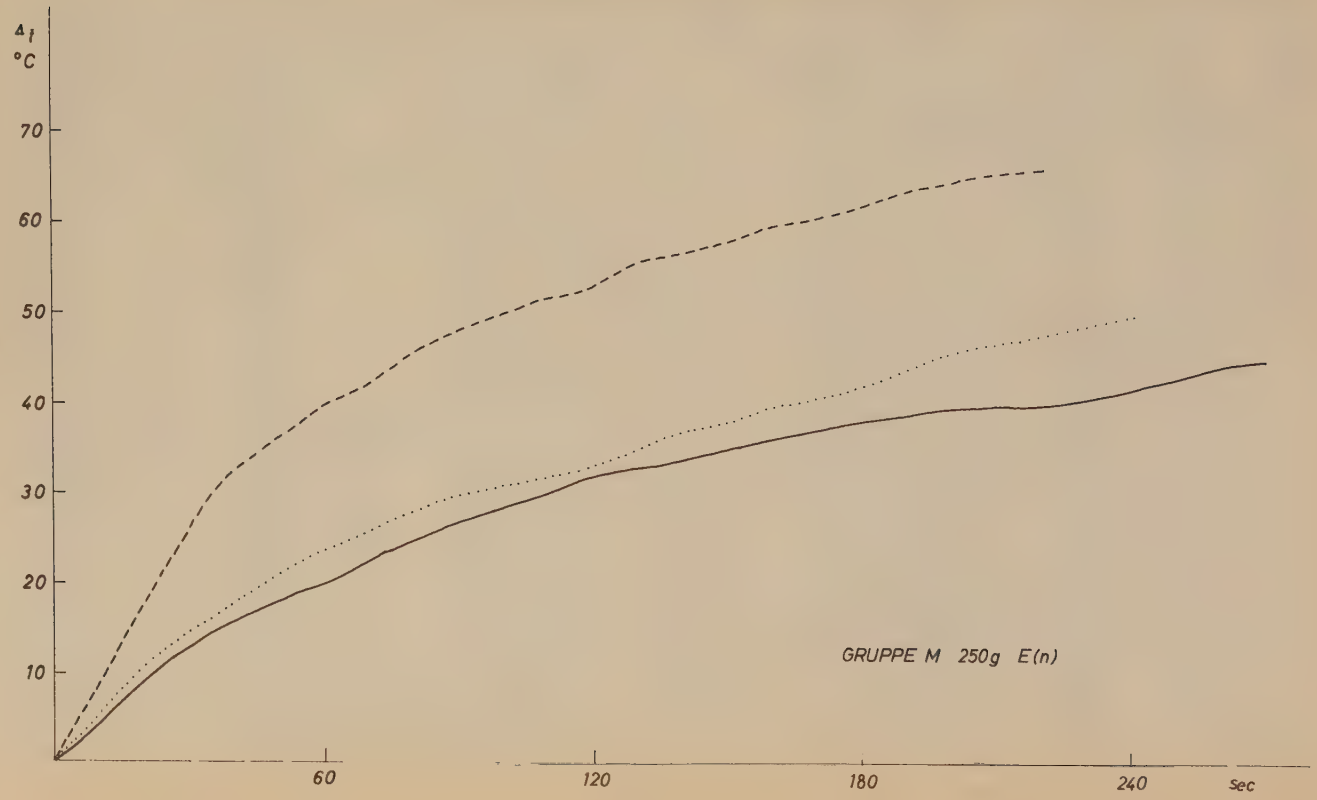
Versuche der Gruppen L und M

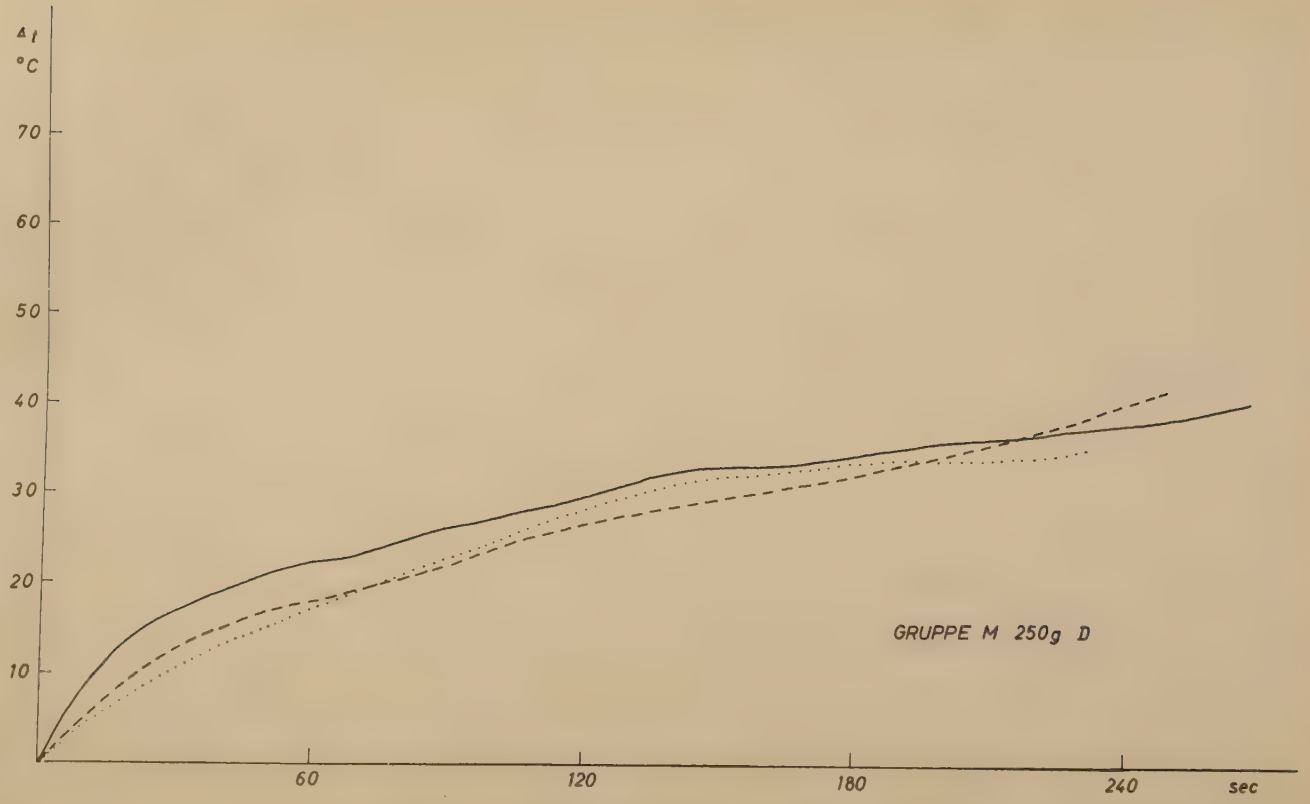
20 Schleifversuche im normaltourigen Bereich (6 000 U/min).
Bei diesen Versuchen wurde eine gleichartige Diamantwalze in einem Imperator-Handstück mit Winkelkopf angetrieben. Der Drehzahl entsprechend mußte hier eine höhere Vorschubkraft (250g) angewendet werden. Die Spraykühlung bei den L-Versuchen entsprach der in Verbindung mit dem Kerr-Winkelstück angewandten (23 ^{o}C, 30 ccm/min).

Bei den Versuchen der Gruppe M erfolgte keine Kühlung.


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE L 250g E(n)


Δt
°C
12
10
8
6
4
2
60
120
sec
GRUPPE L 250g D


Δt
°C
70
60
50
40
30
20
10
60
120
180
240
sec
GRUPPE M 250g E(n)


Δt
°C
70
60
50
40
30
20
10
60
120
180
240
sec
GRUPPE M 250g D

8) Diskussion der Ergebnisse

Da die Versuche der vorliegenden Arbeit aus bereits erwähnten Gründen an Prüfkörpern durchgeführt wurden, so muß nun die Frage beantwortet werden, welche Bedeutung den registrierten Temperaturwerten zukommt und wie diese definiert werden können.

Der Meßpunkt ist durch die fixierte Lage des Thermoelements stets der gleiche, er liegt an der Wandung eines "künstlichen Pulpenkavum". Die hier gemessenen Temperaturen würden also unter den jeweiligen Bedingungen auch im menschlichen Zahn auftreten und auf die vitale Pulpa einwirken.

Dem bei Versuchsende unter Freilegung des Thermoelements ermittelten Temperatur-Höchstwert muß eine besondere Bedeutung zugemessen werden: Während des gesamten Schleifvorganges wird diese Temperatur unmittelbar an der Schleifstelle im Material herrschen. Die Kenntnis dieser Temperaturgrößen ist bedeutungsvoll, wenn man die Möglichkeit bedenkt, daß schon im vitalen Dentin irreparable thermische Schädigungen gesetzt werden können ohne nennenswerten Temperaturanstieg im Pulpenkavum selbst.

Die Beurteilung und Interpretation der sowohl aus den Tabellen ersichtlichen Temperaturhöchstwerte, als auch der graphisch dargestellten Temperaturkurven, muß unter dem Gesichtspunkt des eben Gesagten geschehen. Bei der Ausführung einer Präparationsarbeit an einem Zahn mit vitaler Pulpa wird man selbstverständlich stets danach trachten, eine möglichst starke Dentinschicht zu belassen. Die gemessenen Werte sind demnach als extrem hoch anzusehen.

Die Versuche der Gruppen A, K und M sind nur insofern von praktischer Bedeutung, als mit ihnen demonstriert wird, daß eine Spray- bzw. Wasserkühlung beim Arbeiten in allen Drehzahlbereichen unerläßlich ist. Die aus einer Turbine (KaVo-Borden-Airotor) austretende Antriebsluft übt nur eine unzureichende Kühlwirkung aus. Es ergeben sich folgende Durchschnittswerte für die Temperaturerhöhung:

20g Vorschubkraft	Dentin	18.8 °C
(300 000 U/min)	Elfenbein trocken	21.2 °C
	Elfenbein naß	28.8 °C

Bei 30g Belastung liegen die entsprechenden Werte bereits über 30°C. Die Versuche mit maschinengetriebenen Instrumenten (Gruppe K und M), bei denen auch die Luftkühlung noch entfällt, ergaben besonders hohe Temperaturanstiege:

100g Vorschubkraft	Dentin	52.6 °C
(40 000 U/min)	Elfenbein naß	59.2 °C
250g Vorschubkraft	Dentin	39.4 °C
(6 000 U/min)	Elfenbein naß	54.0 °C

Die Versuche der übrigen Gruppen wurden unter Bedingungen durchgeführt, die der Zielsetzung der Praxis nach schonender Behandlung entsprechen. Auf Seite 98 sind die Ergebnisse der Gruppen B - F

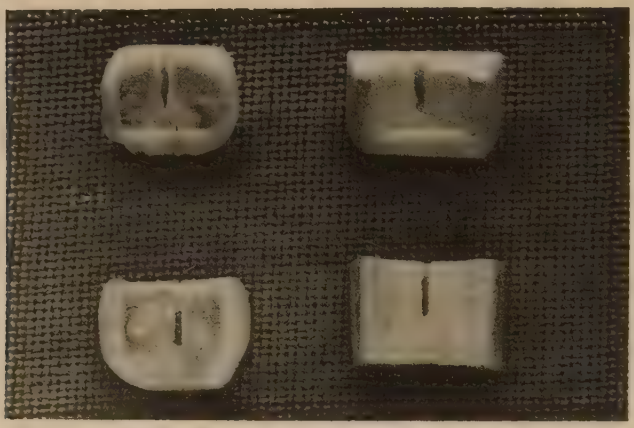


Abb. 17

Dentin- (links) und Elfenbeinplättchen (rechts) nach dem Schleifversuch. Die eröffnete Bohrung ist sichtbar

(höchsttouriger Bereich) in einer graphischen Darstellung zusammengestellt. Die senkrechten I-förmigen Striche geben die Streuungsbreite der Ergebnisse von fünf Einzelversuchen an. Bei den verwendeten Turbinengeräten (KaVo und Siemens) wurde mit optimaler Spray- bzw. Wasserstrahlkühlung gearbeitet, deren Minutenleistung aus den Tabellen zu ersehen ist. Die Sprayanlage, die in Verbindung mit dem Kerr-Winkelstück zur Anwendung kam, war auf eine Wassermenge von 30 ccm/min eingestellt worden, da bei weiterer Drosselung ein ungleichmäßiger und stoßweise arbeitender Spray entstand. Eine Erhöhung der Minutenleistung über 30 ccm/min ist nicht anzuraten, da sich durch größere Wassermengen die Sichtverhältnisse im Arbeitsgebiet verschlechtern. Die erreichte Kühlwirkung war bei dem hier benutzten Diamant-Schleifkörper von 2 mm Durchmesser ausreichend. Es muß jedoch bedacht werden, daß ein maschinengetriebenes Instrument sowohl die Verwendung größer dimensionierter Schleifkörper zuläßt, als auch die Vorschubkraft unbewußt vom Behandler gesteigert werden kann.

Die Versuchsergebnisse mit der turbinengetriebenen Diamantwalze und Vorschubkräften von 20, 30 und 50g lassen erkennen, daß die maximalen Temperaturerhöhungen für Dentin kaum den Wert von 11 °C erreichen. Als günstigste Vorschubkraft können Werte zwischen 30g bis 50g angesehen werden. Durch höhere Belastung des Instruments kommt

es zu einer übermäßigen Abbremsung, die mit einem örtlichen Temperaturanstieg verbunden ist. Während der Versuche wurde der Tourenabfall bei 300 000 U/min wie folgt registriert:

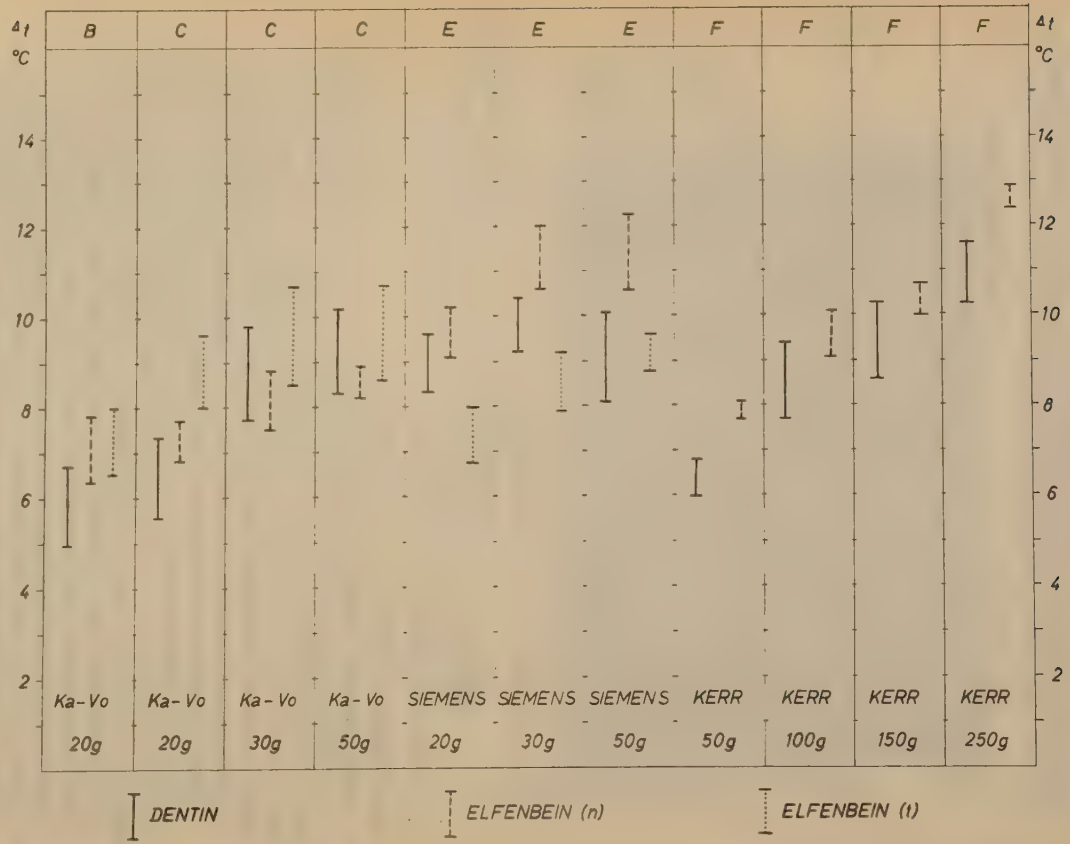
Vorschubkraft	Durchschnittlicher Tourenabfall
20 g	25 000 U/min
30 g	50 000 U/min
50 g	100 000 U/min

Diese Werte variieren um + 10%, je nach der Eindringtiefe des Schleifkörpers in das Prüfmaterial.

In der Tabelle auf Seite 98 sind unter F die Schleifergebnisse bei 80 000 U/min unter Verwendung einer gleichartigen Diamantwalze im Kerr-Winkelstück aufgezeichnet. Vergleicht man die Temperatur-Höchstwerte für Dentin mit denen der Gruppen C und E, so wird man feststellen, daß diese bei einer Vorschubkraft von ca. 150g ungefähr übereinstimmen. Ein genaues Bild der Verhältnisse läßt sich hier jedoch erst aus einer Gegenüberstellung der entsprechenden Temperatur-Zeit-Kurven gewinnen. Da bei jedem Versuch die gleiche Menge Zahnhartsubstanz bis zur Eröffnung der Bohrung abgetragen werden mußte, kann die objektive Beurteilung der Schleifleistung nur unter Berücksichtigung der Schleifdauer geschehen.

Versuch	Schleifdauer (Mittelwert)	Temperaturanstieg (Mittelwert)
Gruppe C 50g (D)	71 sec	9.2 °C
Gruppe E 50g (D)	65 sec	9.5 °C
Gruppe F 50g (D)	54 sec	6.5 °C
Gruppe F150g (D)	26 sec	9.1 °C

Die Zahlen der vorstehenden Tabelle zeigen die besseren Ergebnisse der maschinengetriebenen Instrumente im höchsttourigen Bereich. Durch einen weiteren Vergleich der Versuchsgruppen F 150g (D) und E 50g (D) (Siemens-Sirona-Turbine) kommt man zu folgenden Daten: Die Schleifdauer ist um mehr als die Hälfte verkürzt (60%), der durchschnittliche Temperatur-Höchstwert der E-Versuche wird nicht erreicht und liegt um ca. 0.5 °C niedriger als dieser. Es darf natürlich bei dieser Gegenüberstellung nicht übersehen werden, daß hier zwei unterschiedliche Kühlsysteme angewandt wurden: Wasserstrahlkühlung (38 °C, 23 ccm/min) bei der Siemens-Turbine, Wasser-Luft-Spray (23 °C, 30 ccm/min) beim Kerr-Winkelstück. Dennoch ist die höhere Schleifleistung nicht allein auf die größere Kühlwassermenge zurückzuführen. Schon die bedeutend kürzere Schleifdauer läßt erkennen, daß hier eine effektive Mehrleistung vorliegt. Diese findet ihre Erklärung in der Tatsache, daß bei dem Maschinenantrieb - auch bei größeren Vorschubkräften - kein mennenswerter, die Schleifleistung beeinträchtigender Tourenabfall zu verzeichnen ist. Es kommt zu einer günstigeren Ausnutzung der jedem Instrument eigenen optimalen Leistungsfähigkeit bei einer bestimmten Drehzahl und Vorschubkraft.


Δt °C
B
C
C
C
E
E
E
F
F
F
F
14
12
10
8
6
4
2
Ka-Vo 20g
Ka-Vo 20g
Ka-Vo 30g
Ka-Vo 50g
SIEMENS 20g
SIEMENS 30g
SIEMENS 50g
KERR 50g
KERR 100g
KERR 150g
KERR 250g
DENTIN
ELFENBEIN (n)
ELFENBEIN (t)

Über die unterschiedlichen Kühlwassermengen bliebe noch zu sagen, daß diese, wenn man die Minutenleistung auf die tatsächliche Schleifdauer umrechnet, in ein umgekehrtes Verhältnis zueinander treten. Bei der Siemens-Turbine sind danach in den 65 Sekunden 35 ccm Wasser aus dem Munde des Patienten abzusaugen, während bei dem Kerr-Winkelstück in 26 Sekunden, in denen die gleiche Schleifleistung erzielt wird, nur 13 ccm Spraywasser anfallen.

Die Versuchsergebnisse der Gruppen I, K, L und M im hoch- und normaltourigen Bereich sind geeignet, weitere Betrachtungen über den Einfluß von Drehzahl und Vorschubkraft auf die Temperaturentwicklung und die Schleifleistung anzustellen. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick:

Versuche mit Spraykühlung	Schleifdauer (Mittelwert)	Temperaturanstieg (Mittelwert)
Gruppe I 100 g (D) (40 000 U/min)	40 sec	6.2 °C
Gruppe L 250 g (D) (6 000 U/min)	99 sec	7.4 °C

Versuche ohne Kühlung	Schleifdauer (Mittelwert)	Temperaturanstieg (Mittelwert)
Gruppe K 100 g (D) (40 000 U/min)	78 sec	53 °C
Gruppe M 250 g (D) (6 000 U/min)	249 sec	39 °C

Die Spraykühlung war die gleiche wie bei den F-Versuchen (23 °C, 30 ccm/min). Die Vorschubkräfte von 100 g bei 40 000 U/min und 250 g bei 6 000 U/min müssen als Minimalwerte angesehen werden, um in diesen Drehzahlbereichen einen ausreichenden Schleifeffekt zu erzielen. Das auffallendste Merkmal der Ergebnisse im normaltourigen Bereich ist die erheblich verlängerte Schleifdauer. Durch Anwendung größerer Vorschubkräfte wäre diese zwar abzukürzen, es muß dann jedoch aus den auf Seite 16 bereits erwähnten Gründen mit bedeutend stärkerer Wärmeentwicklung gerechnet werden. Die Versuchsresultate führen zu dem Schluß, daß mit 6 000 U/min die Grenze für ein rationelles und schonungsvolles Schleifen erreicht oder bereits unterschritten ist. Wird doch gerade von der hoch- und höchsttourigen Arbeitsmethodik eine Verminderung der Vorschubkraft angestrebt, nicht zuletzt um die äußerst unangenehme Vibrationserscheinungen auszuschalten.

Welche Bedeutung einem Wasser-Luft-Spray außer seiner Kühlwirkung für die ständige Säuberung des Schleifkörpers und die Abfuhr des Schleifstaubes zukommt, zeigen die Versuche der Gruppe K und M, die ohne Kühlung durchgeführt wurden. Bereits nach wenigen Schleifintervallen war die Diamantwalze von anhaftendem Schleifstaub verschmiert und zeigte die typische Weißfärbung.

Es soll an dieser Stelle noch einiges über die angewandten Kühlsysteme gesagt werden. Aufgrund der Ergebnisse kann weder zugunsten des Wasser-Luft-Sprays noch der Wasserstrahlkühlung entschieden werden. Wenn aus der Tabelle auf Seite 98 für die E-Versuche mit Wasserstrahlkühlung etwas höhere Temperaturwerte entnommen werden können, so ist dies auf die bedeutend stärkere Wasservorwärmung (38 °C) zurückzuführen. Bei beiden Systemen ist durchaus eine genügende Kühlwirkung erreichbar, wenn mit angemessener Vorschubkraft und unter Einhaltung einer vernünftigen Schleif- bzw. Bohrtechnik gearbeitet wird.

Der Entschluß einiger Firmen, die von ihnen hergestellten Turbinenköpfe mit zwei sich gegenüberliegenden Düsen zu versehen, muß begrüßt werden. So kann beispielsweise bei der Präparation einer Kavität vermieden werden, daß eine Beeinträchtigung der Kühlwirkung eintritt, indem der aus nur einer Düse austretende Wasserstrahl nicht in jeder Situation das Schleifinstrument und die Schleifstelle gleichmäßig günstig treffen kann. Dies tritt dann ein, wenn die Düse nicht gegenüber der Schleifstelle liegt, sondern auf derselben Seite. Zwei Turbinen-Winkelstücke der Firma Kaltenbach & Voigt wurden daraufhin in der Versuchsapparatur untersucht. Es handelt sich um die Versuche der Gruppe B 20g (Tabelle I) und Gruppe C 20g (Tabelle II). Der Turbinenkopf mit Doppelspray lag mit einer Minutenleistung von 14 ccm um 1 ccm höher als der Ein-Düsen-Spray des anderen Winkelstücks. Trotzdem ergaben die durchschnittlichen Temperatur-Höchstwerte für den Doppelspray etwas ungünstigere Werte. Dieses scheinbare Paradoxon erklärt sich aus der besonderen Schleifsituation in der Versuchsapparatur. Hier kann nur die der Schleifstelle gegenüberliegende Spraydüse ihre volle Wirkung auf das rotierende Instrument ausüben. Bei dem Turbinenkopf mit einer Düse hingegen, trifft der Spraystrahl mit seiner vollen Kapazität von 13 ccm/min von der Seite her das Instrument und die Schleifstelle.

Die Frage der günstigsten Temperatur des Kühlwassers soll im folgenden betrachtet werden. Selbstverständlich wird die Kühlwirkung umso größer sein, je niedriger die Temperatur des Kühlmittels ist. Die Versuche der Gruppe D zeigen die Wirkung eines nicht vorgewärmten Wasser-Luft-Sprays. Durch die Expansion tritt vor der Düse eine Abkühlung des Wassers von Zimmertemperatur (20 °C) bis auf 16 °C ein. So kommt es, daß bei einigen Versuchen sogar eine Temperaturerniedrigung resultierte. Daß jedoch unter derartigen Bedingungen nicht am vitalen Zahn gearbeitet werden kann, ist begreiflich. In diesem Zusammenhang sind die Untersuchungen der beiden Autoren H. Hensel und G. Mann (20) von großem Interesse. Mit zuverlässigen Meßmethoden konnte am Patienten durch thermische Reizung vitaler Zähne die untere und obere Schmerzschwelle ermittelt werden. Es zeigte sich, daß Reiztemperaturen innerhalb des Bereichs von 27 - 45 °C auch bei längerer Einwirkungsdauer zu keiner Schmerzreaktion an gesunden, kariesfreien Zähnen führten. Zur Schmerzauslösung wird von den Autoren u. a. ausgeführt:

"Die Versuche zeigen, daß die erste Schmerzempfindung schon auftritt, wenn die Innentemperatur des Zahnes noch weit von der äußeren Reiz-

temperatur entfernt ist. Daraus läßt sich schließen, daß bei äußeren Temperaturreizen die erste Schmerzempfindung nicht erst in der Pulpa, sondern bereits im Dentin ausgelöst wird."

Demnach scheint die Vorwärmung des Kühlwassers auf Körpertemperatur weder nötig, noch hinsichtlich der Kühlwirkung zweckmäßig zu sein. Vielmehr bietet sich als geeignete Spraytemperatur die untere Schmerzschwelle mit 27 °C an. Die bei der KaVo-Turbine gemessene Spray-Temperatur von 22 °C muß als zu niedrig angesehen werden.

Die an Elfenbein-Prüfkörpern durchgeführten Versuche lassen erkennen, daß hier ein Material vorgelegen hat, welches zwar in seiner strukturellen Beschaffenheit größere Schwankungen zeigt, jedoch generell eine höhere Schleiffestigkeit im Vergleich zum Dentin aufweist. Aus diesem Grunde schienen Elfenbein und Dentin die geeigneten Stoffe zu sein, an denen die Wirkung von Diamant-Schleifkörpern und Hartmetallbohrern verglichen werden konnte (Gruppe G, Seite 81 - 83).

Wenn hier der Begriff Schleiffestigkeit gebraucht wird, so geht diese Bezeichnung und ihre Definition auf v. ENGELHARDT (15) zurück. Danach ist der Härtegrad eines Stoffes, wie er z. B. durch die Brinell-Härteprüfung ermittelt wird, keinesfalls auch ein Maß für dessen Schleiffestigkeit. Ausschlaggebend ist vielmehr der strukturelle Aufbau eines Materials, sodaß sich für dessen Härte und Schleiffestigkeit durchaus gegensätzliche Werte ergeben können. Daß die Schleiffestigkeit von großer Bedeutung für die Wärmeentwicklung sein wird, ist verständlich. So ist es auch zu erklären, daß sich ein sehr sprödes Material leicht schleifen läßt.

Eine Einordnung der Zahnhartsubstanzen nach diesen Gesichtspunkten würde zu folgender Reihenfolge führen: Schmelz - Dentin - Elfenbein, wobei der Zahnschmelz trotz seiner größeren Härte die niedrigste Schleiffestigkeit besitzt. Die schlechte Wirkung von Stahl- und Hartmetallbohrern am Schmelz ist jedem Praktiker aus Erfahrung bekannt. Der Schleifkörper findet hier sein bevorzugtes Anwendungsgebiet. Die Verhältnisse, die sich in dieser Hinsicht an Dentin und Elfenbein ergeben, sind aus den graphischen Darstellungen eindeutig zu entnehmen. Elfenbein kann mit seiner hohen Schleiffestigkeit in bedeutend kürzerer Zeit und unter sehr viel geringerer Wärmeentwicklung mit einem Hartmetallbohrer bearbeitet werden. An Dentin-Prüfkörpern erwiesen sich die beiden Instrumente hinsichtlich der Schleifdauer als annähernd ebenbürtig. Beim Diamant-Instrument ist indessen eine etwas geringere Temperaturerhöhung festzustellen.

Die Versuchsergebnisse mögen zum Beweise dienen, daß mit den verwendeten hoch- und höchsttourigen Geräten sowie den zugehörigen Kühlsystemen durchaus zufriedenstellende Ergebnisse am Patienten zu erwarten und zu erreichen sind. Dies darf sowohl für die Temperaturentwicklung als auch für die übrigen schmerzauslösenden Faktoren gelten. Wenn dennoch gelegentlich nach präparatorischen Maßnahmen an vitalen Zähnen Devitalisation oder Alterationen der Pulpa resultieren, so müssen diese Mißerfolge einer unsachgemäßen Arbeitsweise zugeschrieben werden.

Zwei Regeln sollten bei jeder maschinellen Bearbeitung des Zahnes, sei es mit einem Schleifkörper oder Bohrer, unbedingt beachtet und eingehalten werden, zumal wenn mit hohen Drehzahlen gearbeitet wird:

1. Die Vorschubkraft (Auflagedruck) muß niedrig gehalten werden. Besondere Gefahr besteht hier bei den maschinengetriebenen Instrumenten; diese Geräte verleiten den Behandler zu übermäßiger Druckanwendung durch die ebenfalls ansteigende Schleifleistung.

2. Intermittierendes Arbeiten unter ständigem Wechsel der Schleif- bzw. Bohrstelle, wobei die Arbeitspause mindestens halb so lange wie das Schleifintervall dauern sollte.

Welche Bedeutung dem ständigen Wechsel der Bohrstelle zukommt, demonstriert das Ergebnis der unter Gruppe H aufgeführten Versuche. Obgleich bei diesen Bohrvorgängen im Vergleich zu den G-Versuchen (50g Dentin) bedeutend weniger Material abgetragen wurde, kommt es zu doppelt so hohen Temperaturwerten.

Als Schlußbetrachtung der vorliegenden Arbeit wird der Versuch von Interesse sein, die hier gewonnenen Erkenntnisse und Resultate mit denen zu vergleichen, die in der Literatur von anderen Autoren beschrieben werden. Die Schwierigkeiten einer vergleichenden Betrachtung beginnen mit den oftmals sehr unterschiedlichen Versuchsbedingungen, von denen einige bereits auf Seite 17 und 18 erwähnt wurden. In einer Reihe von Arbeiten über Temperaturmessungen (Peyton, Hudson und Sweeny, Vaughn und Peyton u.a.) wird z.B. eine Versuchsanordnung beschrieben, die im Prinzip auch in der von Klos und Rottke (26) veröffentlichten Arbeit Verwendung fand. Der Zahn als Versuchskörper wird durch ein Hebelsystem, das einem Waagebalken ähnelt, in axialer Richtung an eine Bohrspindel mit eingespanntem Instrument geführt (in der zuletzt erwähnten Arbeit war das Turbinen-Winkelstück an dem Hebelsystem befestigt). Auf diese Weise sind nur reine Bohrversuche durchführbar, die für die Praxis kaum von Bedeutung sind, da die verschiedenen zahnärztlichen "Bohrer" bei der Behandlung fast ausschließlich fräsend angewendet werden. Für axiales Bohren sind diese Instrumente ungeeignet und auch nicht konstruiert (Vergleich mit einem Spieralbohrer). Bei derartigen Bohrversuchen wird - besonders wenn diese kontinuierlich durchgeführt werden - dem schlechten Wirkungsgrad entsprechend auch die Wärmeentwicklung größer sein.

Den Praxisgegebenheiten entsprechende Schleif- und Bohrversuche, die zu Vergleichszwecken brauchbar erscheinen, sind von einigen Autoren durchgeführt worden. Hier ergeben sich jedoch dadurch Schwierigkeiten, daß die verschiedensten Schleifkörper- und Bohrergrößen, Vorschubkräfte, Tourenzahlen usw. angewendet wurden.

Hofmann (21) hat Kronenpräparationen an extrahierten Zähnen mit und ohne Spraykühlung durchgeführt. Er stellte fest, daß die 50 °-Grenze ohne Kühlung sicher überschritten wird (Diamantschleifrad 0.9cm ø, 20 000 - 24 000 U/min, 100g Vorschubkraft), bei Spraykühlung (30 ccm/min) hingegen keine Temperaturerhöhung eintrat. Bohrver-

suche mit einem Turbinengerät (Kavitätenpräparation) ergaben Maximalwerte von 2.5 - 3.0°C.

Ähnliche Ergebnisse fanden Klos und Rottke (26) bei ihren von Hand ausgeführten Kavitätenpräparationen. Beim Arbeiten mit Turbinengeräten (Rosen- und Fissurenbohrer sowie ein kugelförmiger Diamant) ohne Spraykühlung ergaben sich Temperaturwerte bis 54°C (18° Temperaturerhöhung). Unter Spraykühlung zeigte sich nur geringe Wärmeentwicklung (2 - 3°C).

Weitere Ergebnisse von Schleifversuchen sind der Arbeit von Schubert (41) zu entnehmen. Bei hohen Drehzahlen (genaue Angaben über Drehzahl und Instrument wurden in der Veröffentlichung nicht gemacht) sind Präparationsarbeiten, wie sie zur Aufnahme einer Mantelkrone erforderlich wären, an vitalen Reißzähnen narkotisierter Hunde ausgeführt worden. Unter Wasserberieselung ergaben sich Temperaturerhöhungen von 2 - 3°C.

Eine Übereinstimmung der Ergebnisse in den oben zitierten Arbeiten ist nicht zu übersehen. Dies gilt besonders für die unter Spraykühlung gemessenen Temperaturwerte, obgleich verschiedene Versuchsbedingungen vorlagen. Daraus ist zu folgern, daß auch die Ausgangstemperatur bei derartigen Messungen von untergeordneter Bedeutung ist.

Bei einem Vergleich der unter Spraykühlung gemessenen Werte von 2 - 3°C mit den Ergebnissen dieser Arbeit müssen folgende Tatsachen berücksichtigt werden: Die Bedeutung der Temperatur-Höchstwerte ist bereits auf Seite 95 definiert worden; diese Meßwerte geben nicht nur die an der Schleifstelle herrschende Temperatur wieder, sondern es muß auch angenommen werden, daß die gleiche Temperatur beim Eröffnen der Pulpa auf diese einwirkt.

In den erwähnten Arbeiten wurden die Präparationen jedoch so durchgeführt, daß eine Dentinschicht von mehreren Zehntel Millimetern erhalten blieb. Die Temperaturwerte der vorliegenden Arbeit müssen demnach reduziert werden. Dies kann auf folgende Art geschehen: Bei jedem Versuch wurde die gleiche Schleifleistung während einer kürzeren oder längeren Schleifdauer erzielt (1 mm dicke Dentin- bzw. Elfenbeinschicht = ca. 25 cmm Zahnhartsubstanz). Ist aus den Temperatur-Zeitkurven z. B. ersichtlich, daß die durchschnittliche Schleifdauer 25 Sekunden beträgt (Gruppe F 150g (D), Seite 77), so wäre nach 12.5 Sekunden noch eine Materialstärke von 0.5 mm erhalten. Ließt man zu dieser Zeit die entsprechenden Temperaturwerte auf der Ordinate ab, so kommt man zu Werten zwischen 3.8 - 5.3°C. Da der durchschnittliche Temperatur-Höchstwert für diese Versuche 9.1°C beträgt, kann man allgemein bei halber Schleifdauer auch die Hälfte dieser Werte annehmen.

Bei Annahme einer verbleibenden Dentinschicht von 0.5 Millimeter kann demnach mit maximalen Temperaturanstiegen von ca. 5°C am Pulpendach gerechnet werden, wenn unter den beschriebenen Bedingungen und mit den genannten Instrumenten und Kühlsystemen gearbeitet wird.

Es kann gewiß nicht Aufgabe dieser Arbeit sein, über Geräte verschiedener Firmenherkunft zu urteilen, um so mehr, als die Wahl des Praktikers zumeist auf Grund sehr individueller Ansichten getroffen wird. Die Zweckmäßigkeit eines Gerätes ist jedoch von seiner weitgehend universellen Anwendungsmöglichkeit abhängig. Daß in dieser Hinsicht die Turbinengeräte besonders schlecht abschneiden, dürfte leicht einzusehen sein. Bleibt schon ihr Verwendungsgebiet fast ausschließlich auf Maßnahmen der konservierenden Zahnheilkunde beschränkt, so ist auch hier nicht jegliche Präparation mit dem Airotor möglich oder zu Ende zu führen. Dem maschinengetriebenen High-Speed-Instrument ist der Vorteil zuzuschreiben, daß es mit geeigneten Mitteln von einer üblichen, modernen Unit-Bohrmaschine angetrieben werden kann, und der Drehzahlbereich den jeweiligen Erfordernissen entsprechend auswählbar und regulierbar ist.

Zweifellos birgt die höchsttourige Arbeitsmethode bei sinnvoller Anwendung eine Reihe bedeutender Vorteile für Patient und Behandler in sich. Es stimmt jedoch bedenklich, wenn der Zahnarzt diese Arbeitsweise in seiner Praxis einführt, ohne zuvor von irgendeiner Seite über die möglichen Gefahren orientiert zu sein, zumal von Seiten der Herstellerfirmen in dieser Richtung keinerlei Aufklärung zu erwarten ist. Der Weg des höchsttourigen Schleifens und Bohrens ist beschritten worden, weil vernünftige Überlegungen auf ihn geführt haben. Argumente der Zeitersparnis passen nicht gut in eine ärztliche Tätigkeit, auch nicht in das Gebiet der Zahnheilkunde.

9) Zusammenfassung

Die besondere Zielsetzung der Untersuchungen bestand darin, eine Versuchsanordnung zu finden, die untereinander vergleichbare Messungen der Temperaturentwicklung beim Schleifen von Zahnhartsubstanzen ermöglichte. Es wurde zu diesem Zweck eine Versuchsapparatur konstruiert, die an identischen Prüfkörpern aus Dentin und Elfenbein gleichartige, intermittierende Schleifvorgänge automatisch ausführte.

Die Temperaturmessung erfolgte mittels eines im Prüfkörper untergebrachten Thermoelements, die Registrierung der Temperaturwerte geschah an einem Spiegelgalvanometer in Abständen von 2 oder 4 Sekunden.

Es wurden Versuche im normal-, hoch- und höchsttourigen Bereich durchgeführt. Mit einem elektrischen Induktions-Drehzahl-Meßgerät konnte während der Schleifversuche die Tourenzahl bzw. der Tourenabfall kontrolliert werden.

Turbinengeräte und maschinengetriebene Schnellauf-Winkelstücke wurden für den Antrieb gleichartiger Diamantwalzen von 2 mm Durchmesser benutzt. Je nach verwendetem Gerät erfolgte die Kühlung mit einem Wasser-Luft-Spray oder Wasserstrahl von unterschiedlicher Minutenleistung und Vorwärmung. Eine Anzahl Versuche wurde ohne Kühlung durchgeführt. Die Vorschubkraft (Auflagedruck) konnte dem Drehzahlbereich entsprechend variiert werden (20 - 250g).

Ein Versuch wurde in dem Moment beendet, da das Thermoelement durch den rotierenden Schleifkörper freigelegt wurde. Die Meßergebnisse sind als Temperatur-Zeit-Kurven graphisch dargestellt.

Die bei Versuchsende festgestellten Temperatur-Höchstwerte sind ein Maß für die an der Schleifstelle im Material auftretenden Temperaturen während des Schleifvorganges. Diese Temperaturanstiege für Dentin im höchsttourigen Bereich zwischen 8 - 10.7 °C, wenn Vorschubkräfte von 50g bei 300 000 U/min und 150g bei 80 000 U/min angewendet werden. Schleifversuche im hochtourigen Bereich bei 40 000 U/min und 100g Vorschubkraft, sowie im normaltourigen Bereich (6000 U/min, 250g) ergaben Temperaturanstiege von maximal 9.5 °C.

Nimmt man bei Präparationsarbeiten am vitalen Zahn eine verbleibende Dentinschicht von 0.5 Millimeter an, so ist am Pulpendach mit Temperaturanstiegen von 2.5 bis 5.3 °C zu rechnen, wenn mit Spray- bzw. Wasserstrahl-Kühlung gearbeitet wird.

Die aus einer Turbine (KaVo-Borden-Airotor) austretende Antriebsluft übt nur eine ungenügende Kühlwirkung aus. Bei 20g Vorschubkraft wurden bereits Temperaturerhöhungen von durchschnittlich 19 °C gemessen.

Schleifversuche ohne Kühlung bei 40 000 und 6 000 U/min ergaben für Dentin Temperaturanstiege von 35 - 57 °C.

Als untere Drehzahlgrenze für die Anwendung von Schleifkörpern können 6 000 U/min angesehen werden.

Literaturverzeichnis

1) Adler, F.: Der Einfluß von Vorschubkraft (50 - 400 p) und Drehzahl (5 000 - 16 000 U/min beim Fräsen von Amalgam und Elfenbein mit Hartmetallbohrern und -Fräsern. Inaug. Diss., Berlin 1960.

2) Andreae, G., Eichner, K., Rohrbach: Messung der Eigenfrequenz menschlicher Zähne und ihrer Vibration beim Bohren und Schleifen mit einem ansetzbaren, kleinen Induktionsschwingungsmesser. Zahnärztl. Rdsch., 2, 1960

3) Bartling, G.: Untersuchungen über Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der zahnärztlichen Stahl- und Hartmetallbohrer. DZZ, 9:715, 1954

4) Bodenmüller, T.J., Castagnola, L.: Kavitätenpräparation mit dem Body-Spray. Schw. Mschr. Zhlkde., 64:109,1954

5) Bohlmann, A.: Untersuchungen zur Spanung bei Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen mit umlaufenden Werkzeugen in verschiedenen Drehzahlbereichen und unterschiedlicher Vorschubkraft. Inaug. Diss., Berlin 1960

6) Bonsack, Ch. Th.: Das Bohren. Deutscher Zahnärzte-Kalender, 14:112, 1955

7) Bonsack, Ch. Th.: Das Schleifen. Deutscher Zahnärztekalender, 15:79, 1956

8) Bonsack, Ch. Th.: Bohren und Schleifen mit hohen Touren. Deutscher Zahnärztekalender, 17:19, 1958

9) Drache, W.: Experimentelle Vergleichsversuche mit den Schleifkörpern: Siliciumkarbid, Karborund und Diamant auf Schleifwirkung, Abnutzung und Wirtschaftlichkeit. Inaug., Köln 1936

10) Eichner, K.: Schleifen und Bohren in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde - ein Überblick über neue Wege und Methoden. Zahnärztl. Rdsch., 66:149, 1957

11) Eichner, K.: Grundlagen und Erfahrungen zum hochtourigen Schleifen. DZZ, 12:1507, 1957

12) Eichner, K.: Untersuchungen zum hochtourigen Bohren und Schleifen. DZZ, 14:591, 1959

13) Eichner, K.: Umdrehungsgeschwindigkeiten der maschinen- und luftgetriebenen Bohrgeräte. Deutscher Zahnärztekalender 18:254, 1959

14) Eichner, K.: Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen über das hoch- und höchsttourige Bohren und Schleifen. DZZ, 15:57, 1960

15) Engelhardt, W. von : Schleiffestigkeit und spezifische Grenzflächenenergie fester Stoffe. Die Naturwissenschaften, 33, 1946

16) Gärtner, D. : Vergleichende Untersuchungen zum Bohren und Schleifen mit höchsten Drehzahlen (Borden-Airotor). Inaug. Diss., Berlin 1960

17) Greuter, A. : Einige physikalische Gesichtspunkte zum Präparieren mit hohen Drehzahlen. Schw. Mschr. Zhlkde., 70:863, 1960

18) Henry, E.E., Peyton, F.A. : Vibration characteristics of the rotating dental instruments. J. Dent. Res., 29:601, 1950

19) Henschel, C.J. : The development of thermal control. J.A.D.A., 33:194, 1946

20) Hensel, H., Mann, G. : Temperaturschmerz und Wärmeleitung im menschlichen Zahn. Stoma, 9:76, 1956

21) Hofmann, M. : Die Temperaturentwicklung im Pulpenkavum beim Beschleifen der Zähne. DZZ, 14:472, 1959

22) Hudson, D.C. and Sweeny, W.T. : Temperatures developed in dental cutting instruments. J.A.D.A., 48:127, 1954

23) Jensen, J.R. : New instrumentation in the surgery of hard tooth tissues. J.A.D.A., 60:591, 1960

24) Keller, H. : Normaltouren - Hochtouren - Höchsttouren. Zahnärztl. Welt/Ref., 59:325, 1958

25) Keller, H. : Die Erschütterung der Zähne und die Schleifleistung von Diamantbohrern bei verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten. DZZ, 9:518, 1954

26) Klos, H., Rottke, R. : Experimentelle Untersuchungen zum Temperaturproblem beim höchsttourigen Bohren und Schleifen mit Turbinengeräten. DZZ, 24:1659, 1960

27) Kohlrausch, F. : Praktische Physik, Band 1 u. 2, 1943

28) Langeland, K. : Pulpreactions to high speed instrumentation. Norske Tannlaegfor. Tidskr., 68:127, 1958

29) Lisanti, V.F. and Zander, H.A. : Thermal injury to normal dog teeth, in vivo measurements of pulp temperature increase and their effects on the pulp tissue. J. Dent. Res., 31:548, 1952

30) Maeglin, B. : Auswirkungen der Kavitätenpräparation mit höchsten Geschwindigkeiten in histologischen Untersuchungen. Schw. Mschr. Zhlkde., 70:877, 1960

31) Marsland, E.A., Shovelton, D.S. : The effects of cavity preparation on the human dental pulp. Brit. Dent. J., 102:213, 1957

32) Marsland, E.A. : A further investigation of the effect of cavity preparation on the human dental pulp. Brit. Dent. J., 105:16, 1958

33) Mayer, A. : Präparieren mit hohen Geschwindigkeiten, klinische Erfahrungen. Schw. Mschr. Zhlkde., 70:881, 1960

34) Mühlemann, H.R., Rateitschack, K. : Airotorpulpen. Zahnärztl. Rdsch., 68:307, 1959

35) Müller, O. : Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Wassermenge auf die Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper. Inaug. Diss. Mainz 1956

36) Peyton, F.A. : Temperature rise in teeth developed by rotating instruments. J.A.D.A., 50:629, 1955

37) Peyton, F.A. : Temperature rise and cutting efficience of rotating instruments. New York Dent. J., 18:439, 1952

38) Peyton, F.A. : Effectieness of water coolants with rotary cutting instruments. J.A.D.A., 56:664, 1958

39) Peyton, F.A., Henry, E.E. : The effect of high speed burs, diamond instruments and air abrasive in cuttung tooth tissues. J.A.D.A., 49:426, 1954

40) Sänger, G. : Experimentelle Untersuchungen über die Streuung der Schleifleistung zahnärztlicher Diamant-Schleifkörper. Inaug. Diss., Mainz 1955

41) Schubert, L. : Temperaturmessungen im Zahn während des Schleif- und Bohrvorganges mittels Lichtstrichgalvanometers. Zahnärztl. Welt/Ref., 58:443, 1957

42) Soyenkoff, B.C., Okun, J.H. : Thermal conductivity measurements of dental tissues with the aid of thermistors. J.A.D.A., 57:23, 1958

43) Stroh, W. : Schleifleistung zahnärztlicher Diamanten bei hohen und höchsten Umdrehungen. Inaug. Diss., Berlin, 1959

44) Vaughn, R.C., Peyton, F.A. : Influence of rotational speed on temperature rise during cavity preparation. J. Dent. Res., 30:737, 1951

45) Walsh, J.P., Symmons, H.F. : Vibration perception in teeth during cavity preparation. New Zealand Dent. J., 44:39, 1948

46) Walsh, J.P. : Comparison of the heat production and mechanical efficiency of diamond instruments, stones and burs at 3 000 and 60 000 r.p.m. New Zealand Dent. J., 45:39, 1948

47) Walsh, J.P. : Vibrationnal productions and frequencies. New Zealand Dent. J., 45:106, 1949

48) Weder, M. : Über die Veränderung der Pulpa des menschlichen Zahnes nach Beschleifen mit hohen und höchsten Umdrehungsgeschwindigkeiten. Inaug. Diss., Berlin 1960

49) Willis and Werner : Heat in cavity preparation.
Aust. J. Dent., 2. 1940

Zum Schluß meiner Arbeit möchte ich dem Direktor der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin, Herrn Professor Dr. med., Dr. med. dent. E. Harndt, für die Überlassung des Themas und für die Bewilligung der finanziellen Mittel zum Ankauf des benötigten Spiegelgalvanometers danken.

Meinem Semesterkollegen Herrn Dr. med. dent. H. Paatsch sage ich für seine Hilfsbereitschaft und seinen Rat bei der Anfertigung der fotografischen Arbeiten herzlichen Dank.

Lebenslauf

Mein Geburtsort ist Berlin-Wannsee. Hier wurde ich am 7. November 1927 als Sohn des niederländischen Fabrikanten A. C. Polman-Mooy und seiner Ehefrau L. Polman-Mooy, geb. Breton geboren.

Im Jahre 1934 begann für mich die vierjährige Grundschulzeit an der Westschule in Berlin-Schlachtensee. Nach anschließendem Besuch der Dreilinden-Oberschule in Berlin-Wannsee legte ich dort im Frühjahr 1947 die Reifeprüfung ab.

Von 1948 bis 1952 Studium an der Technischen Universität Berlin in der Fakultät für Allgemeine Ingenieurwissenschaften. Aus finanziellen Gründen brach ich das Studium ab und arbeitete ein halbes Jahr als Mechaniker.

Anfang 1953 gründete ich eine kleine chemische Fabrikation zur Herstellung von Kunstharzklebstoffen für die Industrie.

Am 29. April 1954 wurde ich an der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin immatrikuliert und begann das Studium der Zahnheilkunde. Nach drei Semestern bestand ich am 29. Oktober 1955 die Zahnärztliche Vorprüfung und nach weiteren fünf Semestern die Zahnärztliche Prüfung am 12. August 1958.

Seit dem 10. Oktober 1958 bin ich als wissenschaftlicher Hilfsassistent in der Chirurgischen Abteilung der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin tätig.